



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**METODA PRO IDENTIFIKACI A ŘEŠENÍ VLVŮ  
ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI ZAVÍRÁNÍ DVEŘÍ**

METHOD FOR IDENTIFICATION AND SOLVING OF EFFECTS FOR CAR SIDE DOOR CLOSING

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Bc. Kristián Benček

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Blaťák, Ph.D.

BRNO 2020



# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství  
Student: **Bc. Kristián Benček**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Automobilní a dopravní inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Ondřej Blaták, Ph.D.**  
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Metoda pro identifikaci a řešení vlivů energetické náročnosti zavírání dveří**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Boční dveře, zámky a závěsy dveří jsou důležitým prvkem vozidla z hlediska pasivní bezpečnosti. Energie potřebná pro jejich zavírání souvisí rovněž s ergonomií samotného vnitřního prostoru vozidla.

### **Cíle diplomové práce:**

Porozumět vlivům jednotlivých faktorů ovlivňujících zatížení a energii požadovanou pro zavírání dveří. Pro konkrétní typ vozidla demonstруйте vliv jednotlivých parametrů ovlivňujících zatížení a energii pro zavírání dveří.

Zobecněním zkoumání zavírání dveří konkrétního vozidla (viz. výše), sestavte metodiku pro určení potřebné energie pro zavírání dveří i jiných vozidel.

### **Seznam doporučené literatury:**

MORELLO, Lorenzo, et. al. The Automotive Body. Dordrecht: Springer Verlag, 2011. 668 s. ISBN 978-94-007-0512-8.

BERND, Simeon. Computational flexible multibody dynamics: A differential-algebraic approach [online]. 2013 [cit. 2013-07-30]. ISBN 978-3-642-35158-7. Dostupné z: <http://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-35158-7/page/1>.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## ABSTRAKT

Diplomová práca sa zaoberá tak, ako aj z názvu vyplýva rozborom a návrhom vhodnej metódy pre identifikáciu a riešenie energetickej náročnosti pri zatváraní bočných dverí automobilu. V úvodnej časti diplomovej práce je uvedený krátky prierez históriou bočných automobilových dverí a prehľad netradičných systémov zatvárania bočných dverí. Hlavným cieľom diplomovej práce je návrh vhodnej metódy pre posudzovanie správnosti nastavenia bočných dverí z energetického hľadiska v sériovej výrobe priamo na výrobnéj linke. Pre dosiahnutie tohto cieľa je súčasťou diplomovej práce rozbor jednotlivých podzostáv, ktoré tvoria bočné dvere automobilu, špeciálny dôraz je pritom kladený na súčasti, ktoré spájajú dvere s karosériou automobilu. Jedná sa hlavne o závesy, mechanizmus zatvárania dverí (záмок a aretačné zariadenie) a použité tesnenia. Ďalšou dôležitou časťou diplomovej práce je rozbor faktorov, ktoré majú jednoznačne najväčší vplyv na veľkosť hodnoty energie potrebnej pre zatvorenie bočných automobilových dverí. Pri návrhu novej metódy pre určenie správnosti nastavenia dverí v rámci výrobného procesu z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí, sa vychádza z metódy skúmania energetickej náročnosti pri zatváraní dverí, ktorá sa používa pri vývoji a návrhu automobilu a následne pri meraní na predsériových automobiloch. V rámci diplomovej práce je uvedený aj detailný popis práve tejto metódy a používaného meracieho zariadenia. V záverečnej časti diplomovej práce sa nachádza podrobne popísaná samotná navrhnutá metóda a meracie zariadenie používané v rámci navrhutej metódy, spoločne s popisom meraní, ktoré bolo potrebné uskutočniť pri navrhovaní danej metódy. V diplomovej práci, v rámci rozboru jednotlivých metód sú uvedené aj výhody a nevýhody každej z metód.

## KLÍČOVÁ SLOVA

automobil, bočné automobilové dvere, dvere, energia potrebná pre zatvorenie dverí, hraničná rýchlosť, merač rýchlosti, metóda, rýchlosť potrebná pre zatvorenie dverí, tesnenie, zatváracia sila, záмок, záves

## **ABSTRACT**

The diploma thesis deals, as the title applies, with the analysis and design of a suitable method for identification and solution of energy intensity while closing the side doors of an automobile. In the introduction of the diploma thesis, there is a brief cross-section of the history of side car doors and an overview of non-traditional side door closing systems. The main goal of the diploma thesis is to design a suitable method for assessing the correctness of the side door settings, from an energy point of view in serial production directly on the production line. To achieve this goal, the diploma thesis includes an analysis of the individual sub-assemblies that make up the side door of the car, with special emphasis on the components that connect the door to the car body. These are mainly hinges, the door closing mechanism (lock and check strap system) and the seals used. Another important part of the thesis is the analysis of the factors which clearly have the greatest impact on the amount of energy required to close the side doors of cars. The design of a new method for determining the correctness of the door setting in the production process in terms of energy required to close the door is based on the method of examining the energy intensity of closing the door, which is used in car development and design and subsequent measurement on pre-production cars. The diploma thesis also provides a detailed description of this method and the measuring equipment used. The final part of the thesis describes in detail the proposed method itself and the measuring equipment used in the proposed method, together with a description of the measurements that had to be performed when designing the method. The diploma thesis, within the analysis of individual methods, also lists the advantages and disadvantages of each of the methods.

## **KEYWORDS**

automobile, automobile side door, closing force, door, door closing energy, door closing velocity, hinge, latch, limit velocity, method, seal, speedmeter

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BENČEK, Kristián. *Metoda pro identifikaci a řešení vlivů energetické náročnosti zavírání dveří*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125396>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. 70 s. Vedoucí práce Ondřej Blatňák.

## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Ondřeje Blatáka, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Bc. Kristián Benček



## PODĚKOVÁNÍ

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce Ing. Ondřejovi Blatákovi, Ph.D. za veľkú mieru trpezlivosti a ochoty, účinnú metodickú, pedagogickú a odbornú pomoc a mnohé ďalšie cenné rady pri spracovaní mojej diplomovej práce.

Najväčšia vďaka však patrí Ing. Mariánovi Ušiakovi a jeho kolektívu z firmy Jaguar – Land Rover, ktorému vďačím vôbec za samotnú možnosť vypracovať túto diplomovú prácu a za veľmi profesionálne vedenie, ochotu a vždy ľudský a ústretový prístup pri riešení diplomovej práce ako aj pri riešení množstva problémov spojených so vzniknutou situáciou v dôsledku pandémie koronavírusu.

V neposlednej rade by som rád poďakoval svojej rodine, priateľke, priateľom a blízkým za veľkú mieru trpezlivosti, ústretovosti a podpory pri písaní tejto diplomovej práce.



## OBSAH

Úvod .....	13
1 História .....	14
2 Netradičné systémy zatvárania dverí .....	18
2.1 Posuvné dvere .....	18
2.2 Samovražedné dvere .....	19
2.3 Krídlové dvere .....	20
2.4 Labutie dvere .....	21
2.5 Motýlie dvere .....	22
2.6 Nožnicové dvere .....	23
2.7 Vztyčné dvere .....	24
2.8 Baldachýnové dvere .....	24
3 Základné súčasti dverí .....	26
3.1 Rám dverí .....	26
3.2 Inštalačný panel .....	27
3.3 Vnútorný panel .....	28
3.4 Mechanizmus zatvárania .....	29
3.4.1 Systém zámku .....	29
3.4.2 Aretačné zariadenie .....	30
3.5 Závesy .....	31
3.6 Tesnenia .....	32
4 Faktory ovplyvňujúce pohyb dverí .....	33
4.1 Hmotnosť dverí .....	35
4.2 Poloha ťažiska .....	36
4.3 Naklonenie osi rotácie .....	37
4.4 Mechanizmus zatvárania .....	38
4.4.1 Odpor zámku .....	38
4.4.2 Odpor aretačného zariadenia .....	39
4.5 Odporové sily tesnení .....	39
4.6 Trenie v závesoch .....	40
4.7 Pretlakový efekt v kabíne .....	40
5 Súčasná metóda .....	42
5.1 Meracie zariadenie .....	42
5.2 Meranie .....	45
5.2.1 Príprava merania .....	45
5.2.2 Priebeh merania .....	47

---

5.3	Zhodnotenie metódy .....	48
5.3.1	Nevýhody metódy .....	48
5.3.2	Výhody metódy .....	49
6	Navrhnutá metóda.....	51
6.1	Meracie zariadenie .....	51
6.2	Meranie .....	54
6.2.1	Príprava merania.....	54
6.2.2	Priebeh merania .....	55
6.3	Zhodnotenie metódy .....	56
6.3.1	Nevýhody metódy .....	56
6.3.2	Výhody metódy .....	57
6.4	Určenie hraničnej rýchlosti .....	58
6.4.1	Závislosť rýchlosti na energii .....	58
6.4.2	Zatváracia sila.....	64
	Záver.....	66
	Použité informačné zdroje .....	67
	Zoznam použitých skratiek a symbolov .....	70

## ÚVOD

Pri výrobe automobilov sa výrobcovia musia vysporiadať s rôznorodými problémami, ktoré často súvisia s vládnymi nariadeniami a rôznymi normami, ktoré treba vždy rešpektovať, ale hlavne aj s otázkou bezpečnosti, ktorá je najdôležitejšia. Ďalší z hlavných faktorov značne ovplyvňujúci automobilové spoločnosti pri vývoji a výrobe automobilov, je niekedy racionálne, ale často aj výrazné iracionálne a emocionálne vnímanie zákazníkov a s tým spojená neustála snaha o prvý pozitívny dojem vyvolaný u zákazníkov prihliadajúc na kvalitu a dobrý pocit z dielenského spracovania predaného produktu.

Priebeh a prejav zatvárania a otvárania dverí veľmi úzko súvisí s poslednými aspektami spomenutými vyššie. Po vizuálnom kontakte zákazníka s automobilom, kedy si zákazník vizuálne prehliadne nový automobil, sú dvere s najväčšou pravdepodobnosťou vo väčšine prípadov prvou súčasťou vozidla, s ktorou príde zákazník do fyzického kontaktu, z dôvodu nastúpenia do vozidla a následne vystúpenia z vozidla. Jeden z prvých dojmov zákazníka alebo majiteľa nového automobilu hovoriaci o kvalite a spracovaní vozidla, bude preto daný prejavom dverí pri otváraní a zatváraní, priebehom zrýchlenia a rýchlosti dverí, samotným maximálnym uhlom otvorenia a energiou, ktorá je potrebná na dosiahnutie otvorenia ale hlavne následného zatvorenia dverí. Ďalším veľmi dôležitým faktorom ovplyvňujúcim dojem, celkový prejav a kvalitu spracovania automobilu ako aj dverí je zvuk, ktorý dvere vydávajú pri zatvorení. Je nevyhnutné sa vyhnúť nepríjemným nechceným zvukom počas zatvárania a otvárania dverí alebo počas samotnej jazdy. Z tohto dôvodu musia mať dvere ako aj celá karoséria, dostatočnú tuhosť a samozrejme aj dostatočnú mieru protihlukovej izolácie, ktorá výrazne prispieva k akustickému komfortu posádky. Okrem toho neúplné dosadenie tesnení dverí pri zatváraní alebo nadmerná energia a rýchlosť potrebná na úplné zatvorenie dverí, môže spôsobiť nemalé bezpečnostné problémy, ktorým je potrebné sa vyvarovať, pretože bezpečnosť a ochrana života pasažierov je vždy na prvom mieste.

Pre dosiahnutie spomínaných cieľov je nutné čo najpresnejšie nastavenie dverí, aby čo najlepšie zapadli na svoje miesto v karosérii. Po osadení dverí operátorom na výrobnéj linke, je veľmi dôležité spravnosť prevedeného nastavenia overiť a v prípade potreby následne mierne doladiť zavesenie dverí v pántoch alebo osadenie zámku dverí a tesnení. Na validizáciu správnosti nastavenia bočných dverí v automobile, je potrebná aj vhodná metóda použiteľná pre tento účel. Z toho vyplýva aj zameranie a hlavný cieľ diplomovej práce, ktorý spočíva v navrhnutí vhodnej metódy na určenie energetickej náročnosti pri zatváraní dverí. Metóda musí navyše zohľadniť všetky kladené požiadavky, ktoré sú potrebné hlavne pre minimalizáciu vplyvu ľudského faktora a nesmie zasiahnuť do už nastavených operačných činností na výrobnéj linke v celom výrobnom procese.

Celý výskum a merania potrebné pre spracovanie diplomovej práce je v spolupráci s celosvetovo významným výrobcom prémiových osobných automobilov, s firmou Jaguar - Land Rover ( ďalej len JLR ). Všetky merania a celý výskum potrebný pre diplomovú prácu je zameraný na značku Land Rover, a to konkrétne na model Land Rover Defender 2020 vyrábaný v novovzniknutom závode v Nitre ( Slovenská republika ).

## 1 HISTÓRIA

Historický vývoj bočných automobilových dverí je úzko spätý so stále sprísňujúcou sa automobilovou legislatívou hlavne v otázkach bezpečnosti, ergonomie a jazdného komfortu posádky, pričom samozrejme vychádza zo samotného vývoja automobilu ako celku. Úloha dverí sa v priebehu historického vývoja automobilov menila, a tým pádom sa musela výrazne zmeniť aj konštrukcia dverí, použité materiály a technológie potrebné na výrobu dverí. V neposlednom rade, tak ako je nastolený súčasný celosvetový trend v minimalizácii výrobných nákladov, emisií a tvorbe odpadu aj dvere podliehajú tak ako aj celý automobil, snahe o zníženie hmotnosti, ušetrenie materiálu a nákladov spojených s výrobou a transportom, a tým pádom k zníženiu výrobnéj ceny, ktorá sa premieta do konečnej predajnej ceny automobilu, ktorá je jedným z hlavných faktorov ovplyvňujúcich potencionálnych zákazníkov pri výbere nového automobilu.

Prvé automobily vyrobené ešte v 19. storočí dokonca žiadnymi dverami ani nedisponovali. Tieto automobily mali hlavne za úlohu nahradiť vtedy enormne rozšírené konské povozy, z ktorých ich konštrukcia vychádzala. Na obr. 1 môžeme vidieť vôbec prvý patentový automobil pánom Karlom Benzom, ktorý dokonca nemá ešte ani žiadne karosárske diely. Keďže maximálna rýchlosť vtedajších automobilov málokedy presahovala 10 km/h, nebolo potrebné vôbec riešiť uzatvorenie priestoru pre posádku. V tomto prípade ešte nemôžeme hovoriť o žiadnej kabíne automobilu, keďže jediný prvok, ktorý by sme mohli zaradiť medzi prvky interiéru dnešných automobilov je jedine sedačka<sup>1</sup>. [1]



*Obr.1 Prvý automobil na svete patentovaný Karlom Benzom v roku 1886 [1]*

<sup>1</sup> V tej dobe sa jednalo väčšinou skôr o lavicu pre dvoch pasažierov.

Postupom času sa využitie a dostupnosť automobilov zvyšovalo, a preto bolo potrebné upraviť aj ich konštrukčné prevedenie. Zlom v rozšírení a výrazné zlepšenie cenovej dostupnosti automobilov nastal v roku 1902, kedy Henry Ford skonštruoval vôbec prvú montážnu linku pre masovú výrobu automobilov. V roku 1913, následne, Henry Ford zaviedol úplne nový, dovtedy nepoznaný výrobný postup, pri ktorom každý pracovník vždy robí len jeden pracovný úkon na výrobku, ktorý sa samostatne pohybuje po výrobnnej linke. Tento nový výrobný proces mal bezpochyby veľké množstvo výhod, medzi ktoré patrí hlavne štandardizácia a zefektívnenie výroby, čo malo za následok rapídne zníženie výrobných nákladov, a tým pádom aj zníženie predajných cien automobilov, čo spôsobilo spomínané zvýšenie cenovej dostupnosti automobilov a ich následné masové rozšírenie. [2]

So zvyšujúcou sa maximálnou rýchlosťou a snahou o vylepšenie pasívnej bezpečnosti a hlavne komfortu posádky za každého počasia a ročného obdobia, bolo potrebné skonštruovať uzavretú karosériu, ktorej súčasťou boli už aj dvere takmer v takej podobe ako ich poznáme aj v dnešnej dobe. Výrazný zlom v konštrukcii karosérií nastal práve v 20. rokoch 20. storočia, kedy prešli takmer všetci vtedajší výrobcovia automobilov na koncepciu automobilu s uzavretou karosériou, ktorá obsahovala už aj bočné uzamykateľné dvere. Kým v roku 1919 tvoril podiel automobilov s uzavretou karosériou na trhu predaných vozidiel necelých 10 %, o desaťrocie neskôr, v roku 1929 to bolo už takmer 90 %. [3]

Počas 30. a 40. rokov 20. storočia bol automobilový priemysel tak, ako aj iné odvetvia na celom svete sužovaný viacerými negatívnymi historickými udalosťami, medzi ktoré patrí jednoznačne hlavne Veľká hospodárska kríza, ktorá vypukla v roku 1930 a druhá svetová vojna, počas ktorej sa automobilový priemysel musel preorientovať hlavne na výrobu automobilov a iných vozidiel potrebných pre vojenské účely. Po druhej svetovej vojne sa automobilový výrobcovia opäť začali postupne preorientovávať na výrobu civilných automobilov, ktorých bol nedostatok.

Z technologického hľadiska boli takmer všetky mechanické technológie, ktoré poznáme aj dnes objavené už niekedy koncom 30. rokov 20. storočia. Avšak niektoré z nich, ktoré neboli súčasťou žiadneho patentu, boli znovu objavené v povojnovom období iným vynálezcom. Krátko po druhej svetovej vojne, koncom 40. rokov, bola navrhnutá a začlenená do výroby už aj konštrukcia, koncepcia a dizajn automobilu v takej podobe, v akej ho v podstate poznáme dodnes. [4]

Výrazný vplyv na konštrukciu bočných automobilových dverí ako aj celého automobilu, mal pokrok v oblasti vývoja, rozšírenia a masovej výroby plastových materiálov, ktoré boli následne začlenené do výrobného procesu automobilov, kde nahradili dovtedy používané materiály ako drevo, oceľ a iné. Masívne rozšírenie plastových materiálov a ich nasadenie do výroby v automobilovom priemysle, datujeme na prelom 60. a 70. rokov 20. storočia. Pokračovanie takto nastoleného trendu môžeme vidieť až dodnes, kedy sa výrobcovia automobilov snažia ušetriť každý možný gram hmotnosti, k čomu im najviac dopomáhajú práve nové technológie a rýchlo napredujúci vývoj nových plastových materiálov a ich následné použitie v automobiloch, pričom je dôraz kladený hlavne na kvalitu použitých materiálov a ich dielenské vyhotovenie. [4]

Ďalším výrazným milníkom v historickom vývoji automobilových bočných dverí ako aj celej karosérie automobilu sú 90. roky a zavedenie nárazových crash testov ako napríklad Euro

NCAP<sup>2</sup>. Dôležitú úlohu pri navrhovaní, ako aj pri samotnej výrobe automobilu, začala zohrávať otázka bezpečnosti. Automobiloví výrobcovia mali čoraz väčšiu snahu o získanie čo najlepšieho hodnotenia z hľadiska bezpečnosti a ochrany zdravia a života posádky automobilu ako aj ostatných účastníkov cestnej premávky<sup>3</sup>. Takto nastolenému trendu sa nevyhli ani bočné automobilové dvere a ich jednotlivé súčiastky, ktoré sa takisto podieľajú výrazným spôsobom na pasívnej bezpečnosti posádky. Dvere musia disponovať dostatočnou tuhosťou, húževnatosťou a schopnosťou absorbovať energiu, aby dokázali ochrániť pasažierov automobilu v každej situácii, hlavne pri bočnom náraze alebo prevrátení automobilu. [5]

Práve v tomto období vznikol aj automobil, ktorého druhá generácia je veľmi úzko spätá s meraniami, ktoré boli v rámci vypracovania diplomovej práce uskutočnené. Na obr. 2 môžeme vidieť interiér vozidla Land Rover Defender 110 Double Cab 1. generácie z roku 1990.



*Obr.2 Interiér 1. generácie automobilu Land Rover Defender 110 Double Cab vyrobený v roku 1990. [6]*

V posledných rokoch dielenské vyhotovenie a použité materiály na automobilových bočných dverách ako aj na automobile ako celku, prešli obrovským vývojom a zmenou k lepšiemu. Snahou automobilových výrobcov je používať stále dokonalejšie, modernejšie, kvalitnejšie, krajšie ale aj odolnejšie, praktickejšie a ľahšie materiály. Otázky komfortu, vyhotovenia, die-

<sup>2</sup> Metodika hodnotenie je v tomto prípade založená na získavaní čo najväčšieho počtu hviezdíček v sérii viacerých crash testov ( maximálny počet je 5 hviezdíček ). Jednotlivé skúšky a ich kritéria hodnotenia prešli výrazným vývojom z dôvodu nastúpenia nových technológií ( bezpečnostných systémov ), zabezpečujúcich a zvyšujúcich aktivitu, ako aj pasívnu bezpečnosť automobilu. Z tohto dôvodu musela byť pozmenená aj samotná metódika hodnotenia Euro NCAP, podstata ale zostala stále rovnaká. Hlavným cieľom stále zostáva zabezpečiť ochranu zdravia a života posádke ako aj ostatným účastníkom cestnej premávky, poprípade úplne predísť nechcenej kolízii alebo zmierniť možné následky kolízií ak je to samozrejme ešte možné.

<sup>3</sup> Jedná sa hlavne o chodcov a poprípade cyklistov.



lenského spracovania ale aj bezpečnosti sa stali prvoradými. Tento trend neobišiel ani bočné dvere, ktoré sú neoddeliteľnou súčasťou každého automobilu z estetického, praktického, bezpečnostného a funkčného hľadiska.



*Obr.3 Interiér 2. generácie automobilu Land Rover Defender 110 z roku 2020. [7]*

Na obr. 3 sa nachádza interiér novej 2. generácie automobilu Land Rover Defender 110 z roku 2020, vyrobený v závode JLR v Nitre ( Slovenská republika ), ktorého bočné dvere sú, mimo iného, hlavným predmetom meraní v rámci diplomovej práce. Pri porovnaní obr. 2 a obr. 3, na ktorých obidvoch je Land Rover Defender, avšak v rozdielnych generáciách, je jednoznačne viditeľný nastolený trend v dizajne a konštrukcii automobilov, vývojový a časový posun, ktorý urobil automobilový priemysel v posledných desaťročiach. Časový rozdiel medzi prvou generáciou na obr. 2 a druhou generáciou na obr. 3 je približne 30 rokov. Z tohoto porovnania je názorne vidieť obrovský pokrok, kam sa posunul dizajn, vývoj, kvalita použitých materiálov, dielenské vyhotovenie a ergonómia kabíny. Potenciálny zákazníci sú čím ďalej, tým viac nároční pri výbere automobilu, čo sa týka požiadavok na jazdný prejav a komfort, estetický zážitok, kvalitu použitých materiálov, úroveň vyhotovenia, bezpečnosť, funkčnosť, variabilitu, ergonómiu ale na druhú stranu aj na výslednú predajnú cenu a prevádzkové náklady, a aj preto ( okrem iného ) sú automobiloví výrobcovia nútení k neustálemu vylepšovaniu svojich automobilov, čoho dôkazom je práve aj nová generácia Land Rovera Defendera 2020 na obr. 3.

## 2 NETRADIČNÉ SYSTÉMY ZATVÁRANIA DVERÍ

V histórii automobilového priemyslu sa okrem tradičnej, klasickej, konvenčnej koncepcii<sup>4</sup> otvárania bočných automobilových dverí vyskytlo aj viacero netradičných, často až kuriózných variant a prevedení otvárania a zatvárania dverí. V nasledujúcej kapitole je spomenutých niekoľko netradičných variant otvárania bočných dverí osobných automobilov, na ktorých je názorne, jednoducho a viditeľne demonštrovaná dôležitosť a zložitosť problematiky nastavenia otvárania, ako aj zatvárania bočných dverí.

### 2.1 POSUVNÉ DVERE

Posuvný systém zatvárania dverí je pomerne často používaný v dodávkových automobiloch<sup>5</sup> a z netradičných systémov patri jednoznačne medzi najrozšírejší aj medzi osobnými automobilmi. V rámci osobných automobilov disponujú týmto systémom zatvárania bočných dverí takmer výhradne rodinné vozidlá karosárskeho typu MPV, kde sa tento systém zatvárania dverí používa na zadných bočných dverách. Bočné dvere sú zavesené na koľajničkách, ktoré určujú dráhu a dĺžku pohybu dverí a otvárajú sa horizontálnym posunutím pozdĺž bočnej steny automobilu<sup>6</sup>. V nových osobných automobiloch bývajú často posuvné dvere robotizované a ovládané jednoduchým tlačidlom. [8]

Posuvné dvere majú viacero nesporných výhod, ale na druhú stranu aj zopár negatívnych stránok, ktoré sa ale dajú z užívateľského hľadiska pomerne jednoducho minimalizovať. Bočné automobilové dvere poskytujú výborný prístup hlavne do zadnej časti kabíny a vyznačujú sa veľkým praktickým otvorom, ktorého výhody sa umocňujú počas nastupovania a vy-

<sup>4</sup> Dvere, ktoré sú na svojej prednej hrane uchytané ku karosérii pomocou závesov ( najčastejšie dvoch ) a otvárajú sa rotáciou okolo osí závesov smerom k prednej časti automobilu.

<sup>5</sup> Používané sú v obidvoch karosárskych prevedeniach dodávkových automobilov, ako na prepravu materiálu, tak aj na prepravu osôb ( minibus ).

<sup>6</sup> V niektorých špeciálnych netypických prevedeniach sa posuvné dvere zasúvajú do bočnej steny poprípadne do podlahy vozidla. Príklad vozidla so systémom zasúvania dverí do bočnej steny je na obr. 4., na ktorom sa nachádza automobil Kaiser Darrin, vyrobený v roku 1954. [9]



Obr.4 Kaiser Darrin z roku 1954 s posuvnými dverami zasúvanými do bočnej steny automobilu. [10]

stupovania na parkovisku medzi úzko zaparkovanými autami, kedy sa naplno prejavý priestorová nenáročnosť pre otvorené dvere. Medzi najväčšiu nevýhodu tohoto systému patrí väčšia hmotnosť dverí a z toho vyplývajúca aj väčšia sila potrebná pre zatvorenie dverí hlavne, keď sa vozidlo nachádza v stúpaní. Tento problém sa však dá vyriešiť doplnením posuvného systému zatvárania bočných dverí o motor, ktorý bude ovládať pohyb dverí po koľajničkách namiesto pasažierov pri otváraní, ale hlavne pri zatváraní dverí. Na obr. 5 sa nachádza Ford B – MAX, ktorý disponuje zadnými posuvnými bočnými dverami, ktoré sú ukázkovým príkladom hlavnej výhody tohoto systému, a to veľkého nástupného otvoru pre zadné rady sedadiel. [11]



*Obr.5 Ford B – MAX s posuvnými zadnými bočnými dverami. [11]*

## 2.2 SAMOVRAŽEDNÉ DVERE

Názov týchto dverí vyplýva zo samotnej konštrukcie otvárania dverí, ktorú môžeme vidieť na obr. 6. Vznik samovražednej koncepcie zatvárania dverí bol inšpirovaný v začiatkoch automobilového priemyslu systémom zatvárania dverí na konských povozoch<sup>7</sup>. Predné dvere sa od tradičnej koncepcii zatvárania automobilových bočných dverí nijakým spôsobom nelíšia. Rozdielne sú práve zadné dvere, ktoré sa otvárajú zrkadlovo k predným. Uchytenie závesov zadných dverí sa nachádza na C stĺpiku vozidla, a tým pádom sa dvere otvárajú od B stĺpika<sup>8</sup> smerom dozadu. Samotný pohyb dverí je klasický rotačný, okolo osi rotácie prechádzajúcej stredmi závesov, jediný rozdiel voči klasickej koncepcii zatvárania dverí je smer rotácie. [12]

Jednoznačne najväčšou výhodou samovražedných dverí je zväčšenie priestoru pre nastupovanie a vystupovanie z vozidla, obzvlášť na miesta sedadiel v druhom rade<sup>9</sup>. Riešenie so samovražednými dverami je jednoduchšie a aj lacnejšie, ako posuvné dvere používané v rodinných vozidlách typu MPV, na druhú stranu však aj posuvné dvere kombinujú mnoho výhod, ktorými samovražedné dvere nedisponujú. Samovražedné dvere v sebe kombinujú viacero

<sup>7</sup> Jednalo sa o veľmi elegantný a funkčný systém, ktorý uľahčoval nastupovanie a vystupovanie pasažierom z konských povozov a ranných automobilov.

<sup>8</sup> Tu je umiestnená západka zámku, do ktorej pri zatvorení dverí zapadne samotný zámok.

<sup>9</sup> V dnešnej dobe nariadeného používania detských autosedačiek, vzniká ďalšia výhoda spojená s týmto faktom, a to oveľa lepšia a jednoduchšia manipulácia s autosedačkou počas jej inštalácie na zadné sedadlá z dôvodu väčšieho nástupného otvoru.



atribútov smerujúcich k jednému hlavnému cieľu a to k zväčšeniu nástupného priestoru pre druhý, poprípade treť rad sedadiel<sup>10</sup>. [13]

Najväčšou existenčnou nevýhodou brániacou väčšiemu rozšíreniu samovražedných dverí, je jednoznačne bezpečnosť pasažierov<sup>11</sup>. Veľké nebezpečenstvo vzniká pokiaľ sa cestujúci vystupujúci cez zadné dvere nedostatočne ubezpečí o stave premávky za vozidlom a otvorí zadné dvere smerom do jazdy iného prichádzajúceho vozidla, kedy následne dôjde až ku kolízii s týmto vozidlom. Následne je veľké riziko, že dvere zasiahnu cestujúceho, pričom môžu spôsobiť vážne až devastácie zranenia<sup>12</sup>. Ďalšou nevýhodou samovražedných dverí v minulosti bolo ich nechcené samovoľné otvorenie v dôsledku pôsobenia aerodynamických odporových síl počas jazdy väčšími rýchlosťami. Avšak v dnešnej dobe sa výrobcom už v dostatočnej miere podarilo konštrukčne znížiť riziko vzniku týchto nechcených problémov. Výrobcovia najčastejšie používajú riešenie uzamknutia zadných dverí až do momentu, pokiaľ sa neotvorí predné dvere, ktoré zabráňujú otvoreniu sa zadných dverí. [13]



*Obr.6 Rolls-Royce PhantomVIII so samovražednými dverami. [14]*

## 2.3 KRÍDLOVÉ DVERE

Príchodom nového automobilu Tesla Model X, zažili aj krídlkové dvere opätovný nárast záujmu verejnosti. Technologicky známe riešenie bolo vylepšené a konštrukčne dotiahnuté takmer do dokonalosti. Na obr. 7 sa nachádza práve spomínaný automobil Tesla Model X s otvorenými dverami. Z obrázku je vidieť akým spôsobom a aký pohyb vykonávajú krídlkové dvere počas otvárania a zatvárania.

Závesy dverí sú upevnené ku streche a dvere sa otvárajú smerom nahor spolu s časťou strechy. Najväčšou výhodou tejto konštrukcie je jej praktickosť v zúžených parkovacích podmienkach<sup>13</sup>, kedy na otvorenie dverí je potrebný oveľa menší manipulačný priestor, ako je tomu v prípade klasickej koncepcii otvárania dverí. Ďalšou výhodou je veľkosť nástupného

<sup>10</sup> Ak ním samozrejme dané vozidlo disponuje. Väčšinou sa jedná o výnimky.

<sup>11</sup> Otázka bezpečnosti a ochrana zdravia pasažierov by mala byť vždy na prvom mieste.

<sup>12</sup> Narozdiel od tradičnej koncepcii zatvárania dverí, kedy by sa pri takejto zrážke dvere deformovali smerom dopredu od cestujúceho, ktorý vystupuje z vozidla, čo značne znižuje riziko vzniku a vážnosti zranenia.

<sup>13</sup> Hlavne v čoraz preplnenejších mestských parkovacích domoch s úzkymi parkovacími miestami, ale často aj s nízkym stropom. A práve preto je aj nevyhnutné použitie senzorov, ktoré zabránia potencionalnej hrozbe nárazu dverí do stropu nad zaparkovaným autom, aby nedošlo k poškodeniu vonkajšej časti dverí, ako aj k možnému poškodeniu stropu alebo vzduchotechniky, ktorá sa často pod stropom nachádza.

priestoru, ktorý rapídne zväčšuje fakt, že súčasťou dverí je aj časť strechy. Takto otvorené dvere (ako vidieť na obr. 7) vytvoria naozaj veľkorysý priestor pre nastupovanie alebo vystupovanie z vozidla. Pri návrhu krídlových dverí je snaha o zníženie hmotnosti takto otváraných dverí na technicky možné minimum zo zrejmých dôvodov, ale taktiež je veľmi dôležité zachovať požadovanú tuhosť a zabezpečiť dostatočnú úroveň pasívnej bezpečnosti. Ďalším problémom, ktorý výrobcovia krídlových dverí musia vyriešiť, je zabezpečenie núdzového otvorenia dverí aj v prípade nehody, pri ktorej auto zostane prevrátané na streche. Možných riešení tohoto problému je viacero a v podstate každý výrobca automobilov, ktorý použije na svojom vozidle krídlové dvere, prídá aj s novým inovatívnym riešením tohto pomerne komplikovaného problému. [15]



Obr. 7 Tesla Model X so zadnými krídlovými dverami. [16]

## 2.4 LABUTIE DVERE

Názov tejto koncepcii otvárania bočných dverí bol pomenovaný na základe podobnosti s labuťou počas letu keď má úplne roztvorené krídla. Princíp otvárania labutích dverí je veľmi podobný konvenčnému otváraníu dverí. Jediný rozdiel voči tradičnej koncepcii otvárania dverí je v uhle, pod ktorým sú dvere uchytené pomocou závesu ku karosérii. Na rozdiel od bežných dverí sa otvárajú dvere pomocou rotácie okolo osi nielen smerom dopredu, ale aj mierne pod určitým uhlom nahor. Koncepcia labutích dverí sa nachádza najčastejšie u nižších automobilov, hlavne športového typu, ktorých svetlá výška je často hlavným limitujúcim faktorom pri ich používaní v bežnej premávke. Pri parkovaní s takýmto vozidlom, by aj mierne nerovnosti<sup>14</sup> na vozovke alebo obrubník mohli zabrániť bezpečnému<sup>15</sup> alebo úplnému otvorení dverí. A práve tento fakt je hlavným dôvodom, prečo automobiloví výrobcovia hlavne športových automobilov s nízkou svetlou výškou podvozku, a tým pádom aj s malou svetlou výškou dverí, často využívajú na svojich vozidlách labutie dvere, ktoré sa pri otváraní pohybujú aj mierne smerom nahor. Veľmi často využíva labutie dvere na svojich vozidlách

<sup>14</sup> Jedná sa hlavne o výmoly a vystáte kolaje v asfalte na frekventovaných parkoviskách so zle nadimenzovanou povrchovou stavebnou úpravou.

<sup>15</sup> Mohlo by dôjsť k poškodeniu dverí alebo dokonca k úplnému znemožneniu otvorenia dverí, a tým pádom aj k znemožneniu vystúpenia z vozidla.

firma Aston Martin. Pre použitie labutích dverí sa rozhodla aj firma JLR na modely Jaguar C-X75, ktorý môžeme vidieť na obr. 8. [17]



*Obr.8 Jaguar C-X75 s labutími dverami. [18]*

## 2.5 MOTÝLIE DVERE

Systém motýľích dverí je používaný takmer výhradne na športových vysokovýkonných automobiloch. Jedná sa o veľmi elegantné a veľmi zaujímavé riešenie z dizajnerskeho hľadiska. Typickým reprezentantom disponujúcim motýľimi dverami je BMW i8, ktoré sa nachádza na obr. 9 s otvorenými dverami. Otváranie motýľích dverí, je veľmi podobné systému otvárania labutích dverí a v podstate je jediným rozdielom veľkosť uhla naklonenia dverí pri otvorení. Záves dverí sa nachádza na A stĺpiku. Dvere sa otáčajú okolo bodu závesu v dvoch smeroch, a to rotojú okolo svislej osi ako aj okolo vodorovnej pozdĺžnej osi automobilu. Po vykonaní tohto pohybu sa dvere zastavia v polohe nad predným kolesom vedľa automobilu. Motýľie dvere majú totožné, v podstate rovnaké výhody a používajú sa z toho istého dôvodu ako labutie dvere. [19]



*Obr.9 BMW i8 Coupe s motýľimi dverami. [20]*



## 2.6 NOŽNICOVÉ DVERE

Použitie nožnicových dverí je obľúbené medzi automobilovými výrobcami, ktorí vyrábajú športové a superšportové automobily, medzi ktorých patria napríklad talianski výrobcovia automobilov Ferrari alebo Lamborghini. Práve automobil značky Lamborghini sa nachádza na obr. 10, a to konkrétne sa jedná o model Lamborghini Aventador SVL s nožnicovými dverami. Systém otvárania nožnicových dverí je založený na otváraní dverí smerom nahor namiesto smerom von (od vozidla). Záves dverí je uchytený k A stĺpiku vozidla a dvere sa otáčajú na tomto závese okolo priečnej vodorovnej osi vozidla (os kolmá na pozdĺžnu os vozidla). Záves dverí sa nachádza v podobných miestach ako závesy konvenčného zatvárania dverí, čo umožňuje použitie dverí aj v prípade kabrioletu. [21]

Najväčšia výhoda vyplýva z pohybu dverí len smerom nahor, z čoho vyplýva nulové rozšírenie vozidla v priečnom smere, čo uľahčuje nastupovanie a vystupovanie z vozidla v úzkych priestoroch<sup>16</sup> na parkoviskách. V okolí vozidla je pri otvorených dverách oveľa viac priestoru než u konvenčnej koncepcii automobilových dverí. Otváranie dverí len smerom nahor prakticky znižuje riziko možného nebezpečného otvorenia dverí smerom do premávky a dráhy cyklistom na nulu. Limitujúcim faktorom pri vyberaní vhodného parkovacieho miesta<sup>17</sup> je výška stropu, keďže nožnicové dvere sa otvárajú vysoko. Pri nedostatočnej výške stropu môže dôjsť ku vzájomnej kolízii dverí so stropom, čo môže spôsobiť poškodenie dverí alebo zariadení, ktoré sa nachádzajú na strope. Pokiaľ pasažier sedí v automobile nožnicové dvere sa otvárajú pomerne vysoko a pre menšiu osobu je pomerne obtiažne ich zatvoriť. Najväčšou nevýhodou nožnicových dverí je cena systému, náklady na výrobu takéhoto typu závesu sú pomerne vysoké oproti konvenčným závesom. Nastupovací otvor vzniknutý po otvorení dverí je menší ako v prípade konvenčného systému dverí, a preto môžu mať väčšie osoby mierne problémy s nastupovaním a vystupovaním z vozidla. [21]



*Obr.10 Lamborghini Aventador SVL 2019 s nožnicovými dverami. [22]*

<sup>16</sup> Jedná sa hlavne o úzke parkovacie miesta.

<sup>17</sup> Jedná sa o parkovanie v parkovacích domoch alebo podzemných garážach.

## 2.7 VZTYČNÉ DVERE

Jedinou firmou, ktorá používa vztyčné dvere je švédka firma Koenigsegg vo svojich športových a superšportových automobiloch. Oficiálny názov tohoto systému dverí patentovaný švédskym výrobcom Koenigsegg je Dihedral synchro-helix doors. Použitie vytyčných dverí na modely Koenigsegg CCX sa nachádza na obr. 11, na ktorom je názorne vidieť spôsob otvárania dverí. Systém otvárania a zatvárania vztyčných dverí je veľmi podobný systému nožnicových dverí, v podstate sa jedná o značne vylepšený systém nožnicových dverí. Vztyčné dvere sa pri otváraní okrem rotácie o 90° okolo priečnej osi automobilu prechádzajúcej cez bod závesu dverí aj mierne vysunú smerom od vozidla. Výška otvárania dverí<sup>18</sup> je nastavená tak, aby nedošlo pri otvorení dverí k nárazu ani do stropu v garáži a taktiež aby sa dvere vyhli kontaktu s obrubníkom alebo s nejakou inou nerovnosťou a prekážkou. Otváranie vztyčných dverí použitých v automobiloch firmy Koenigsegg je v dnešnej dobe už plne robotizované a dvere sa otvárajú pomocou jednoduchého tlačidla, určeného na otváranie a zatváranie dverí. Najväčšou výhodou vztyčných dverí je minimalizovanie priestoru potrebného pre otvorenie dverí. Pri otvorení dverí dôjde len k minimálnemu rozšíreniu priestoru automobilu v priečnom smere, čo poskytuje veľkú výhodu pri parkovaní v stiesnených pomeroch. [23]



*Obr.11 Koenigsegg CCX so vztyčnými dverami. [23]*

## 2.8 BALDACHÝNOVÉ DVERE

Výskyt baldachýnových dverí je veľmi ojedinelý na sériových automobiloch a najčastejšie sa baldachýnové dvere nachádzajú na rôznych koncepčných vozidlách. Koncepčný návrh takéhoto vozidla sa nachádza aj na obr. 12. Jedná sa o koncepčný návrh od firmy Saab, ktorá sa inšpirovala pri návrhu baldachýnových dverí leteckým priemyslom, kde sa podobné systémy otvárania kabín používajú v malých lietadlách. Dokonca filmovo peslávený Batmobil dispo-

<sup>18</sup>Výška otvorených vztyčných dverí je menšia ako výška otvorených nožnicových dverí.



nuje taktiež baldachýnovými dverami. Pre baldachýnový systém otvárania a zatvárania nie sú stanovené presné pravidlá, ani ujednotené konštrukčné prevedenia. Spoločným znakom, podľa ktorého rozlišujeme baldachýnové dvere, je uchytenie dverí ku hornej časti automobilu<sup>19</sup> a následné zdvíhanie celej hornej časti automobilu spolu s prichytenými dverami tak, aby bolo umožnené nastúpenie a vystúpenie z vozidla. Celá táto otvárateľná časť automobilu môže byť uchytená ku karosérii na rôznych miestach<sup>20</sup>, najčastejšie sa však vyskytuje pripnutie k prednej strane automobilu niekde ponad kapotu. [24]

Medzi výhody baldachýnových dverí patrí, otváranie dverí vertikálne nad automobil, z čoho vyplýva nulové rozšírenie priestoru automobilu pri otváraní dverí. Ďalšou výhodou je možnosť použitia väčšieho čelného skla, vďaka ktorému sa minimalizujú slepé miesta v zornom poli vodiča<sup>21</sup> a jeho rozhľad je oveľa lepší. Táto výhoda plyní z faktu, že dvere sú prichytené k streche automobilu, a preto nie je potrebné použitie A stĺpika. Použitie baldachýnových dverí je veľmi nepraktické za zlých poveternostných podmienok. Pri vystupovaní alebo nastupovaní do vozidla sa pootvorí celá horná časť automobilu a pri daždi dôjde k preniknutiu vody do interiéru. Pri snežení je nutné dôkladné očistenie automobilu od snehu pri každom potencionálnom otvorení dverí. Ďalšia nevýhoda sa odvíja od samotnej konštrukcie baldachýnových dverí. Nastupovanie a vystupovanie z vozidla je pomerne obtiažne z dôvodu použitia vysokého nástupného prahu a malého nástupného otvoru. Bezpečnostným problémom je nutnosť rozbitia okna pre vystúpenie z vozidla pri nehode, pri ktorej by vozidlo ostalo prevrátené na streche so zakliesnenými pasažiermi v kabíne automobilu. [24]



*Obr.12 Saab Aero-X z roku 2006 s baldachýnovými dverami. [25]*

<sup>19</sup> Najčastejšie sa jedná o pevné spojenie strechy automobilu s bočnými dverami.

<sup>20</sup> Poznáme konštrukčné prevedenia s uchytením na prednú bočnú a aj zadnú časť (stranu) automobilu.

<sup>21</sup> Zorné pole vodiča je možné rozšíriť aj na viac ako 180°.

### 3 ZÁKLADNÉ SÚČASTI DVERÍ

Bočné automobilové dvere sú považované za samostatnú ucelenú zostavu automobilu, ktorú je ďalej možné rozdeliť z hľadiska rôznych kritérií na množstvo menších podzostáv. Pre účely diplomovej práce sú bočné automobilové dvere rozdelené na základe konštrukčného návrhu a vyhotovenia do desiatich menších podzostáv, ktoré sa skladajú z niekoľkých ďalších primárnych súčastí:

- **Rám dverí**
- **Inštalačný panel**
- **Vnútorň panel**
- **Mechanizmus zatvárania**
- **Závesy**
- **Tesnenia**
- **Okná a ich pohon**
- **Spätné zrkadlá**
- **Ovládacie a rozvádzacie prvky**
- **Systém ozvučenia**

Detailnejší rozbor a špeciálny dôraz je venovaný hlavne na súčasti dverí, ktoré majú najväčší vplyv na energetické a silové zaťaženie dverí, ktoré je predmetom skúmania v rámci diplomovej práce. Medzi tieto súčasti patria hlavne celý mechanizmus zatvárania dverí, jednotlivé použité tesnenia a závesy dverí. Práve tieto súčasti dverí sú aj naďalej najviac potrebné a používané pri ďalšom spracovávaní diplomovej práce, a preto sú v nasledujúcej časti detailnejšie rozobraté a popísané.

#### 3.1 RÁM DVERÍ

Základnou stavebnou súčasťou dverí je ich rám, na ktorý sa postupne v rámci výrobného procesu umiestňujú jednotlivé komponenty a súčasti dverí. Medzi hlavné úlohy rámu dverí patrí zabezpečenie pasívnej bezpečnosti pasažierov<sup>22</sup>. Rám predných pravých bočných dverí modelu Land Rover Defender 110 pri výrobe na montážnej linke sa nachádza na obr. 13. Tento konkrétny rám používaný na modeloch Land Rover Defender je vyrobený z ocele, s cieľom zníženia výrobných nákladov a zvýšenia tuhosti dverí, čo pozitívne vplýva aj na úroveň pasívnej bezpečnosti. Na obr. 13 je vidieť konštrukciu pomerne mohutných vnútorných výstužných lúčov. V prípade modelu Land Rover Defender je vnútorný prelis rámu dverí využívaný ako viditeľná súčasť interiéru, ktorá slúži ako kovová ozdobná lišta<sup>23</sup>. Konštrukcia a technické prevedenie rámov jednotlivých dverí sa môže navzájom mierne líšiť. Avšak samotný rám dverí sa skladá z troch základných súčastí, ktoré sa nachádzajú v každom technickom prevedení rámu, a to z vonkajšieho<sup>24</sup> a vnútorného panelu a ochranného lúču, ktorý slúži práve ako bezpečnostný prvok zaručujúci pasívnu bezpečnosť pasažierov pri bočnej zrážke s iným vozidlom. Priamo na rám dverí sa uchyťávajú aj jednotlivé spojovacie prvky dverí s automobilom.

<sup>22</sup> Predovšetkým pri bočnom náraze musí zabrániť vniknutiu cudzích predmetov do kabíny automobilu, aby životný priestor okolo pasažierov ostal neporušený.

<sup>23</sup> Aj v tomto prípade sa jedná o pomerne výrazné šetrenie výrobných nákladov, kedy je samotná časť rámu dverí využitá ako kovová lišta obkladu dverí. Nie je potrebné následne pridávať drahé vnútorné doplnky na vnútorný panel dverí.

<sup>24</sup> Určuje vonkajší vzhľad dverí.

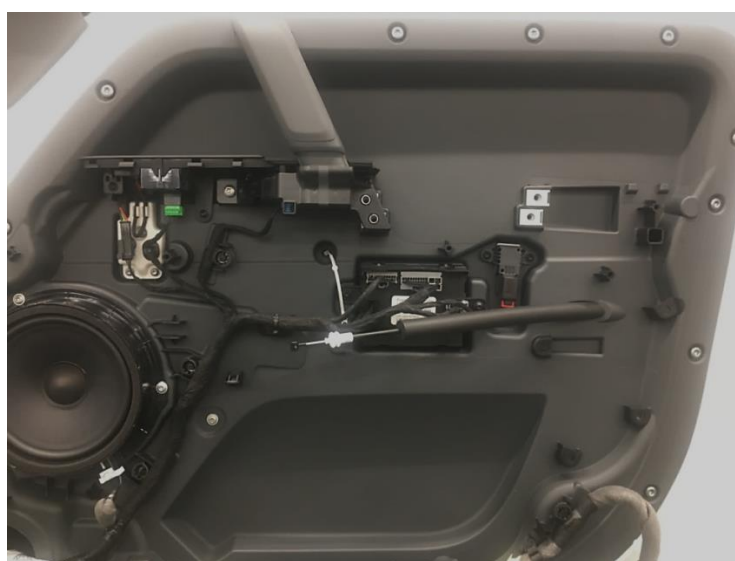
Jedná sa hlavne o závesy, tesnenia, a mechanizmus zámku ( v tomto prípade ide hlavne o aretačné zariadenie ). [26]



*Obr.13 Rám pravých predných bočných dverí modelu Land Rover Defender 110. [26]*

### 3.2 INŠTALAČNÝ PANEL

Tak ako celý automobil je plný rôznych mechanizmov, pohonných jednotiek, ovládacích a rozvádzacích prvkov, tak aj bočné dvere obsahujú veľké množstvo najrôznejších komponentov, ktoré je potrebné vhodne umiestniť a uchytiť. Práve na tento účel slúži inštalačný panel, ktorý je vsunutý vo vnútornom priestore dverí medzi rámom a vnútorným panelom dverí, kde slúži ako držiak všetkých komponentov, ktoré sa v automobilových dverách nachádzajú. Na obr. 14 sa nachádza inštalačný panel Land Rovera Defendera, na ktorom je názorne vidieť hlavnú funkciu inštalačného panelu.



*Obr.14 Inštalačný panel pravých predných dverí automobilu Land Rover Defender. [26]*

### 3.3 VNÚTORNÝ PANEL

Každý automobilový výrobca sa snaží o dosiahnutie čo najdokonalejšieho prevedenia kabíny svojich automobilov. Z pohľadu bočných dverí je najviac viditeľnou časťou dverí práve vnútorný panel, s ktorým prichádzajú pasažieri do častého kontaktu. Okrem estetického hľadiska, ktoré je z užívateľského pohľadu vnímané jednoznačne najviac je ďalšou dôležitou úlohou vnútorného panelu dverí poskytnúť užívateľom dostatočnú mieru ergonomie a funkčnosti jednotlivých prvkov. Jedná sa hlavne o správne umiestnenie laktovej opierky, ktorá je dôležitou súčasťou vnútorného panelu zvyšujúcou pohodlie posádky, a o správne umiestnenie ovládacích prvkov, ktoré sa na dverách nachádzajú<sup>25</sup>. Veľmi praktickým prvkom vnútorného panelu dverí sú odkladacie priestory pre umiestnenie potrebných predmetov<sup>26</sup>. Na obr. 15 sa nachádzajú predné bočné dvere modelu Land Rover Defender s detailným záberom na vnútorný panel dverí, na ktorom je vidieť vhodne umiestnenú laktovú opierku so zatváracím madlom, kľučku ovládania zámku, systém reproduktorov a veľký odkladací praktický priestor vytvorený v spodnej časti vnútorného panela dverí.



*Obr.15 Ľavé predné bočné dvere modelu Land Rover Defender 110 z pohľadu pasažiera v interiéri. [26]*

<sup>25</sup> Jedná sa hlavne o kľučku ovládajúcu mechanizmus dverí, madlo potrebné pre zatvorenie dverí z interiéru a elektrické ovládače okien. V prípade vodičových dverí sa na vnútornom paneli dverí nachádzajú aj ďalšie ovládacie prvky ako prvky ovládajúce nastavenie spätných zrkadiel, poprípade pamäťová funkcia elektrických sedadiel.

<sup>26</sup> Dôležitá je hlavne odkladacia prihradka na vnútornom paneli dverí vodiča, do ktorej je potrebné umiestniť dostatočné množstvo tekutiny, ktorú by mal mať vodič vždy na dosah ruky z bezpečnostných dôvodov.

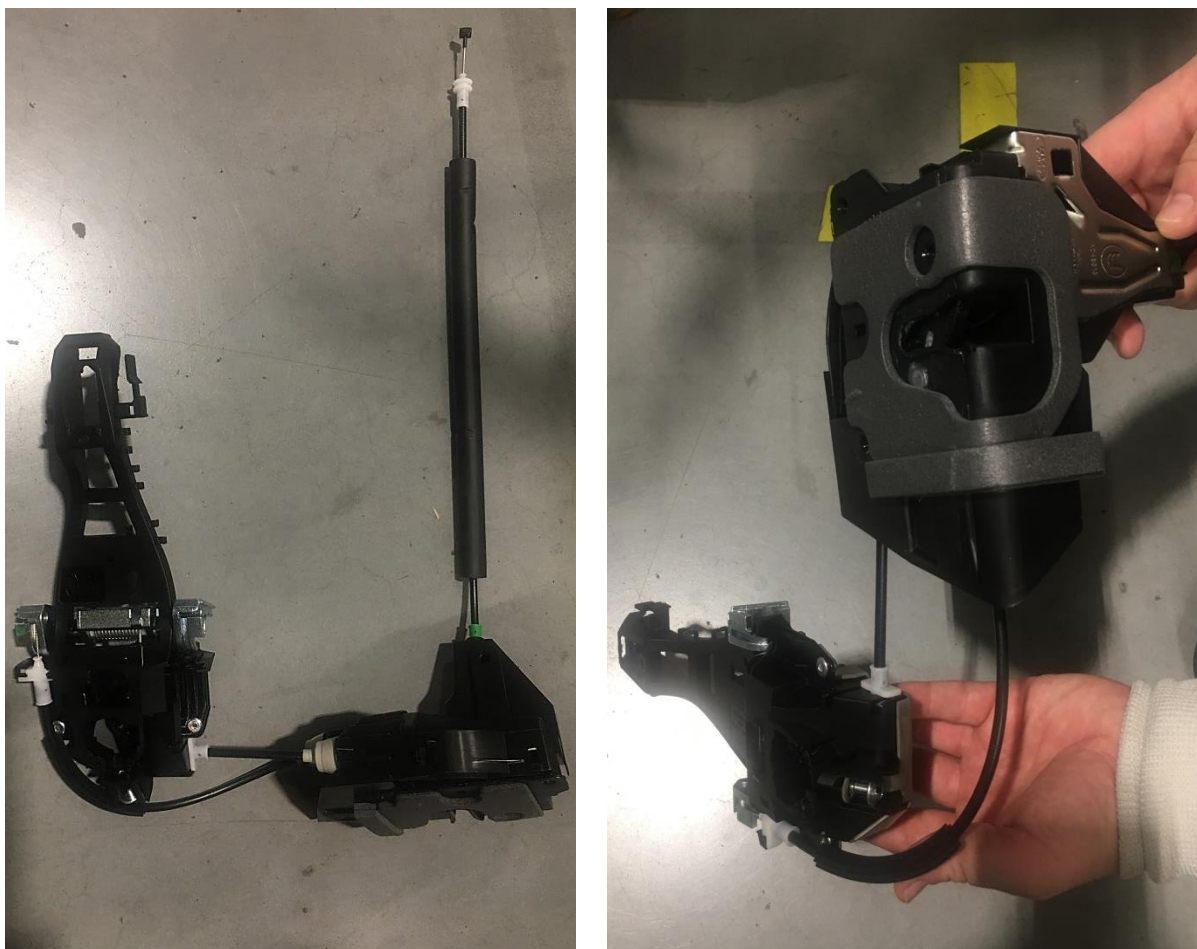


### 3.4 MECHANIZMUS ZATVÁRANIA

Medzi mechanizmus zatvárania dverí patrí samotný zámok s celým mechanizmom ovládania zámku až po kľučky ovládajúce jazýček zámku pri otváraaní dverí. Hlavnou úlohou zámku ako zo samotného názvu vyplýva je zabezpečiť ( zamknúť ) dvere pred nechceným neoprávneným vstupom do interiéru. Ďalšou časťou mechanizmu zatvárania je aretačné zariadenie, ktoré je neodmysliteľným bezpečnostným prvkom dverí.

#### 3.4.1 SYSTÉM ZÁMKU

Pre každého automobilového výrobcu ako aj pre užívateľa automobilu je veľmi dôležité zabezpečenie jednotlivých dverí proti neoprávnenému vniknutiu a následnej krádeži osobného drobného majetku užívateľa alebo dokonca celého automobilu. Na obr. 16 v pravej časti sa nachádza detailný pohľad na samotný zámok dverí používaný na vozidlách Land Rover Defender. Dôležitou súčasťou zámku je v dnešnej dobe systém elektronického, bezkľúčového ovládania odomykania dverí. V ľavej časti obr. 16 sa nachádza zámok dverí spolu s ovládacími a rozvážacími prvkami. Súčasťou zámku, ktorá je veľmi dôležitá z energetického hľadiska nastavenia dverí je jazýček zámku manuálne prepojený s vinutou pružinou, ktorá udržiava jazýček v kľudovej polohe. Pre zatvorenie dverí je potrebné prekonať silu pružiny, aby došlo k zapadnutiu jazýčka do západky zámku, ktorá sa nachádza na pripevnená na automobile.



*Obr.16 Mechanizmus celého zámku bočných dverí používaný v automobile Land Rover Defender. [26]*

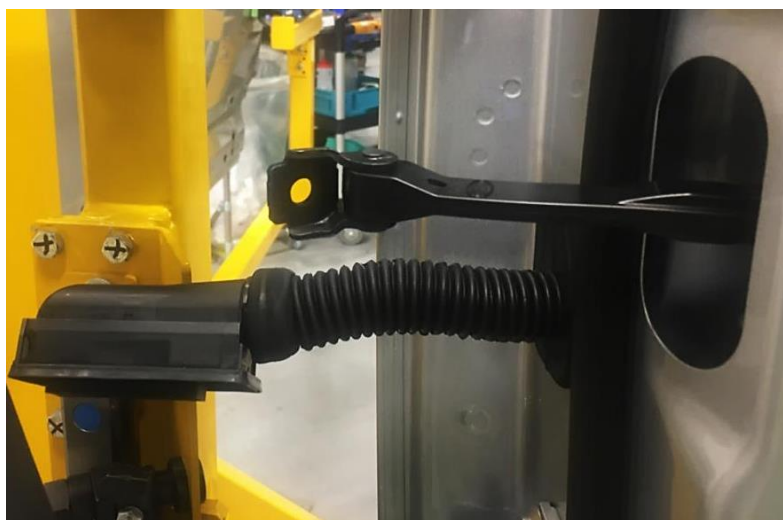
Na obr. 17 sa nachádza západka zámku pripevnená k automobilu Land Rover Defender 110. Pri nastavovaní dverí z hľadiska energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí je to práve západka zámku, ktorá je jediným nastavovacím prvkom v prípade ak je potrebné nastaviť správnosť funkcie a umiestnenia zámku, aby jazýček zámku pri zatváraní kládol, čo najmenší odpor a odoberal čo najmenšiu časť zatvárackej energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí.



*Obr.17 Západka zámku ľavých predných bočných dverí používaná na automobile Land Rover Defender 110. [26]*

### 3.4.2 ARETAČNÉ ZARIADENIE

Dvere umiestnené na závesoch by sa mohli bez zaistovacieho bezpečnostného prvku samovoľne pohybovať, čo by bolo nebezpečné pre pasažierov vystupujúcich a nastupujúcich do automobilu. Práve na tento účel pridržania dverí v požadovanej polohe počas otvárania a zatvárania dverí slúži aretačné zariadenie zobrazené na obr. 18, ktoré je používané na modeloch Land Rover Defender.



*Obr.18 Aretačné zariadenie bočných dverí automobilu Land Rover Defender. [26]*

### 3.5 ZÁVESY

Pre uchytienie bočných automobilových dverí k automobilu slúžia závesy dverí. Na automobilo-  
loch sa bežne nachádzajú dva závesy, horný a dolný, ktorý nesú celú hmotnosť dverí. Závesy  
sú hlavným nastavovacím prvkom pre nastavovanie dverí z energetického hľadiska na výro-  
bnej linke. Na obr. 20 sa nachádza pár závesov, ktoré sú používané na modeloch Land Rover  
Defender v rámci sériovej výroby.



*Obr.20 Dolné a horné rameno závesu ľavých predných bočných dverí namontovaný na au-  
tomobile Land Rover Defender. [26]*

Na obr. 21 sa nachádzajú na dverách upevnené čapy závesov, ktoré tvoria protikus k ramenám  
závesov zobrazených na obr. 20 upevnených na automobile.



*Obr.21 Čapy závesov pravých predných bočných dverí modelu Land Rover Defender 110 na  
montážnej linke. [26]*

### 3.6 TESNENIA

Pre správnu funkčnosť automobilu je nevyhnutné udržať priestor kabíny dostatočne dobre utesnený a odizolovaný proti preniknutiu tekutín. Práve na tento účel slúžia tesnenia umiestnené ako tesniaci prvok na spoji dverí s automobilom. Na automobile sa nachádzajú dve tesnenia, primárne a sekundárne. Primárne tesnenie sa nachádza prilepené na dverách a sekundárne tesnenie sa nachádza prilepené na hranách nástupného otvoru automobilu. Tesnenia<sup>27</sup>, ktoré sa nachádzajú aj na obr. 22 sú prilepené na automobile Land Rover Defender.



*Obr.22 Primárne a sekundárne tesnenie predných bočných dverí automobilu Land Rover Defender. [26]*

<sup>27</sup> V ľavej časti obr. 22 sa nachádza primárne tesnenie nalepené na dverách a v pravej časti obrázku sa nachádza hrana nástupného otvoru, na ktorej je prilepené sekundárne tesnenie.



## 4 FAKTORY OVPLYVŇUJÚCE POHYB DVERÍ

Pri navrhovaní dverí musí dôjsť k rozumnému kompromisu medzi funkčnosťou, bezpečnosťou, praktickosťou a dizajnom. Snahou automobilových výrobcov je vyrábať čoraz dokonalejšie, bezpečnejšie, modernejšie, technológiou vyspelejšie, užívateľsky prívetivejšie, ergonomickejšie a popritom samozrejme aj ľahšie automobily. Ušetrenie hmotnosti má výrazný vplyv na jazdné vlastnosti a dynamický prejav automobilu, ale hlavne na spotrebu paliva, ktorá má najväčší priamy vplyv aj na vyprodukované emisie, ktorých minimalizácia je v dnešnej dobe jednoznačne kľúčovým a existenčným cieľom každého automobilového výrobcu. Všetky tieto aspekty spomenuté vyššie majú výrazný vplyv aj na samotné bočné automobilové dvere.

Priebeh zatvárania dverí ako aj energia potrebná na ich úplné zatvorenie, je ovplyvnený množstvom faktorov. Pri montáži a nastavovaní dverí v rámci výroby automobilu na výrobnnej linke môžeme faktory ovplyvňujúce priebeh zatvárania dverí a energiu potrebnú pre zatvorenie dverí rozdeliť na dve skupiny. A to na faktory, ktoré už nie sme schopní ovplyvniť alebo akokoľvek pozmeniť, pretože vyplývajú zo samotného konštrukčného návrhu dverí alebo automobilu ako celku. Do tejto skupiny patrí hmotnosť dverí, geometria dverí, použité tesnenia a ich poloha<sup>28</sup>, použité závesy, použitý druh mechanizmu pre zatváranie dverí a pretlakový efekt v kabíne<sup>29</sup>. Druhá skupina zahŕňa faktory, ktoré vieme ovplyvniť a upraviť pri samotnom nastavovaní dverí na výrobnnej linke. Medzi tieto faktory patrí hlavne veľkosť trecej sily v závesoch, veľkosť odporovej sily mechanizmu zatvárania<sup>30</sup> a čiastočne aj veľkosť odporovej sily tesnení, ktorá sa len mierne automaticky koriguje popri tom, ako je nastavovaná poloha dverí na závesoch a v zámku.

Energia potrebná pre zatvorenie dverí je tvorená v prevažnej miere vonkajším pôsobením sily vyvinutej osobou, ktorá práve zatvára dvere. Ďalšími silami, ktoré prispievajú k výslednej hodnote energie potrebnej pre zatvorenie dverí sú gravitačná sila<sup>31</sup> a sila vzniknutá predpätím dverí.

Pri nastavovaní dverí sa dvere pomocou nastavenia presného správneho uhlu závesov mierne našponujú (dôjde k mikroskrúteniu rámu dverí), čo spôsobí vznik predpätia v rámovej konštrukcii dverí<sup>32</sup>. Veľkosť výslednej vyvolanej sily je závislá na hodnote torznej tuhosti dverí a veľkosti výchylky z kľudovej polohy, pomocou ktorej vzniká vo dverách predpätie. Podobne ako aj v prípade obyčajnej pružiny, aj dvere sa snažia vzniknutú deformáciu minimalizovať a vrátiť sa do svojej kľudovej polohy. Táto snaha dverí vytvára silu, ktorá pôsobí v mieste uchytenia dverí v závesoch opačným zmyslom ako sila, ktorá vytvorila spomínané predpätie vo dverách. Tieto vzniknuté sily významným spôsobom pomáhajú pri zatváraní dverí tým, že dodávajú časť energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí, čo má za následok zníženie časti

<sup>28</sup> Nastavením samotnej polohy dverí na závesoch a západke zámku voči karosérii vieme mierne ovplyvniť aj veľkosť vyvolanej odporovej sily v tesneniach. Samozrejme nastavovanie je možné len do takej miery, aby bola zachovaná garancia dokonalej priľnavosti tesnení a nepriepustnosti tesneného spoja.

<sup>29</sup> Vychádza z geometrie a samotného konštrukčného návrhu automobilu ako celku. Pri nastavovaní dverí sa už nedá ovplyvniť.

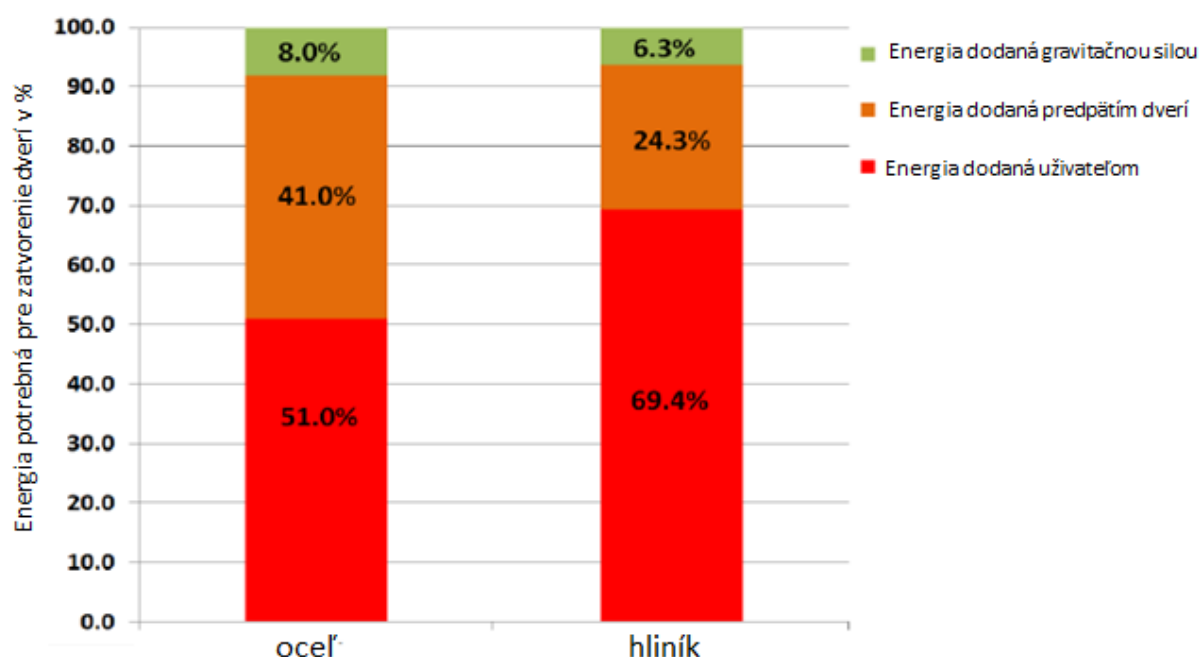
<sup>30</sup> Nastaviť vieme hlavne polohu západky a dorazu zámku.

<sup>31</sup> Os závesov dverí je mierne naklonená tak, aby gravitačná sila na danom ramene vytvárala moment, ktorý napomáha zatváraní dverí.

<sup>32</sup> Tento jav možno prirovnať k pružine namáhanej na krut, ktorá takisto pôsobí na svoje konce vyvolanou silou od elastickej deformácie.

energie potrebnej pre zatvorenie dverí, ktorú je nutné dodať manuálne osobou, ktorá vykonáva zatváranie dverí. [26]

Podiel veľkostí jednotlivých zložiek, ktoré sa podieľajú na tvorbe energie potrebnej pre zatváranie dverí, sa nachádza na obr. 24. Z grafov nachádzajúcich sa práve na obr. 24 je zrejmé, že viac ako polovica z celej potrebnej energie pre zatvorenie dverí je dodávaná manuálnou prácou osoby, ktorá zatvára dvere. Na obr. 24 sa nachádzajú dva grafy, ktoré porovnávajú vplyv použitých materiálov v rámci konštrukcie dverí ( hlavne sa jedná o rám a karosárske diely ). Pri znížení hmotnosti dverí dôjde taktiež k poklesu podielu energie dodanej pri zatváraní dverí od gravitačnej sily<sup>33</sup>. Taktiež torzná tuhosť dverí vyrobených zo zliatiny hliníku, je výrazne nižšia, ako v prípade rovnakej konštrukcie dverí<sup>34</sup> vyrobených z ocele. Pokles týchto dvoch hodnôt má za následok logický nárast časti energie potrebnej pre zatvorenie dverí, ktorú je potrebné dodať manuálne osobou, ktorá zatvára dvere. [27]



Obr.25 Percentuálny podiel jednotlivých zložiek, ktoré sa podieľajú na tvorbe energii potrebnej pre úplné zatvorenie dverí. [27]

<sup>33</sup> Ako vyplýva z rovnice 1, znížením hmotnosti dôjde priamo aj k zníženiu veľkosti gravitačnej sily, keďže práve hmotnosť je jediná premenná, ktorej hodnota sa vo výpočte gravitačnej sily pôsobiacej na dvere môže meniť.

$$G = m \cdot g, \quad (1)$$

Kde:

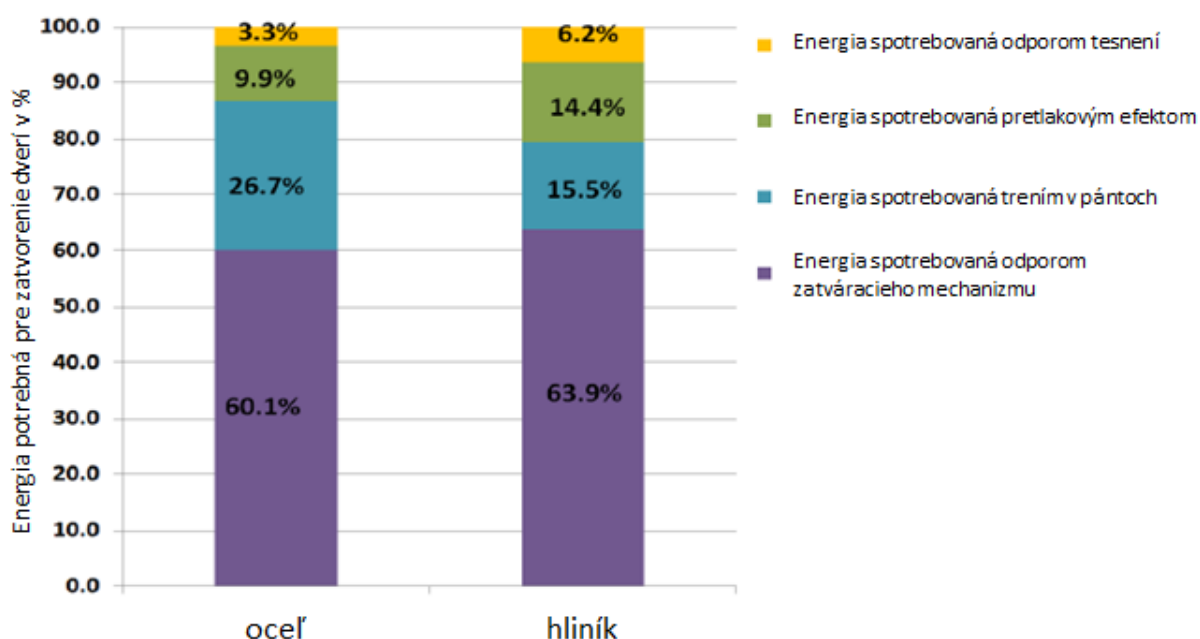
G – gravitačná sila [N],

m – hmotnosť dverí [kg],

g – gravitačné zrýchlenie [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ ].

<sup>34</sup> Dvere ostávajú zachované z každého hľadiska stále v tej istej podobe, pre správnosť porovnania sa zamení iba použitý materiál.

Zaujímavý je aj pohľad na jednotlivé percentuálne podiely odporových zložiek, ktoré postupne svojím pôsobením spotrebovávajú energiu pri zatváraní<sup>35</sup>. Jednoznačne najviac energeticky náročnou zložkou pri zatváraní dverí je odpor kladený zatváracím mechanizmom, ktorého aretačné zariadenie vytvára treciu silu a následne pre úplné zatvorenie dverí je potrebné prekonať aj odporovú silu zámku tak, aby jazýček zámku zapadol do západky zámku a došlo k úplnému zatvoreniu dverí. Percentuálny podiel jednotlivých zložiek v rámci energie, ktorá je spotrebovaná pre úplné zatvorenie dverí sa nachádza na obr. 25, z ktorého je zrejmé, že až približne 60 % z celej energie spotrebovanej pri zatváraní sa spotrebuje práve na prekonanie odporových a trecích síl zatváracieho mechanizmu. Z obr. 25 ďalej vyplýva, že znížením hmotnosti dverí pomocou použitia zliatiny hliníku, dôjde k zníženiu trenia na závesoch, čo má za následok zníženie energie odobratej práve týmto trením takmer o polovicu. Tento fakt veľmi výrazne taktiež prispieva k zníženiu veľkosti celkovej energie potrebnej pre zatvorenie dverí. [27]



Obr.26 Percentuálny podiel jednotlivých zložiek, ktoré sa podieľajú na spotrebovávaní energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí. [27]

#### 4.1 HMOTNOSŤ DVERÍ

Stály veľmi dynamický nárast počtu nových technológií používaných v automobilovom priemysle má výrazny vplyv aj na konštrukčné prevedenie bočných dverí, od ktorého sa odvíja aj samotná hmotnosť dverí. Na druhú stranu je snahou automobilových výrobcov, čo najväčšie zníženie hmotnosti celého automobilu ako aj jeho jednotlivých súčastí. Pre dosiahnutie tohto cieľa sa používajú rôzne odľahčené materiály, znižujúce hmotnosť dverí. V prípade kovových dielov sa jedná o rôzne, samotnými výrobcami automobilov vyvíjané, zliatiny hliníka s prísadami ďalších kovov.

Pri konštrukčnom návrhu dverí je potrebné skĺbiť viacero faktorov, ktoré majú výrazný vplyv na samotnú hmotnosť dverí. Medzi hlavné faktory určujúce hmotnosť dverí patrí rozmerová

<sup>35</sup> Veľkosť energie potrebnej pre prekonanie všetkých odporových síl je rovná veľkosti energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí. Jedná sa o tú istú energiu iba inak nazvanú.

veľkosť dverí, konštrukčné prevedenie<sup>36</sup>, použité materiály, jednotlivé zariadenia a zvyšné súčasti dverí, ktoré sa majú v dverách nachádzať z hľadiska výbavy<sup>37</sup> automobilu. Hmotnosť dverí má priamy vplyv na veľkosť pôsobiacej gravitačnej sily, ktorej veľkosť je priamo závislá na veľkosti hmotnosti, z čoho vyplýva, že hmotnosť dverí ovplyvňuje, cez veľkosť gravitačnej sily, všetky faktory pôsobiace na konečnú veľkosť energie potrebnej pre zatvorenie dverí, v rámci ktorých vystupuje gravitačná sila ako jedna z premenných. Jedná sa hlavne o veľkosť trecích síl vyvolaných v závesoch a veľkosť potencionalnej energie, ktorou gravitačná sila prispieva k zatvoreniu dverí. Veľkosť gravitačnej sily spolu s uhlom naklonenia osi určujú aj veľkosť výslednej potencionalnej energie, ktorá napomáha pri zatváraní dverí. Gravitačná sila<sup>38</sup> má výrazný vplyv aj na spomínanú veľkosť trecích síl vyvolaných v závesoch. Zníženie celkovej hmotnosti dverí spôsobí zníženie veľkosti gravitačnej sily, čoho následkom je aj zmena<sup>39</sup> hodnôt veľkostí jednotlivých veličín, v rámci výpočtu ktorých zohráva gravitačná sila dôležitú úlohu. [28]

## 4.2 POLOHA ŤAŽISKA

Pôsobenie gravitačnej sily potrebnej pre výpočet vplyvu jednotlivých faktorov na zatváranie dverí pôsobiacej na dvere automobilu, je sústredené v ťažisku. Pre zjednodušenie výpočtu vplyvu jednotlivých faktorov<sup>40</sup> pôsobiacich na dvere počas zatvárania, sa dvere uvažujú ako hmotný bod umiestnený priamo do ťažiska dverí, kde je sústredená práve aj gravitačná sila. Určenie presnej polohy ťažiska je preto nevyhnutné, pre ďalší výpočet jednotlivých faktorov pôsobiacich na dvere je nutné poznať kolmú vzdialenosť ťažiska od osi rotácie<sup>41</sup> v pozdĺžnom ale aj priečnom smere.

Z dôvodov uvedených vyššie je nevyhnutné určenie polohy ťažiska pomocou vhodnej metódy. Za najvhodnejšiu metódu určenia polohy ťažiska dverí z hľadiska jednoduchosti, funkčnosti, nenáročnosti a rýchlosti metódy sa javí použitie kyvadla. Na obr. 27 sa nachádza jednoduché kyvadlo, pomocou ktorého je možné určiť presnú polohu ťažiska dverí. Dvere sú na obr. 27 znázornené pomocou čierneho hmotného bodu.

Priebeh testu s kyvadlom pre učenie presnej polohy ťažiska dverí je pomerne jednoduchý. Potrebne je kyvadlo<sup>42</sup>, na ktoré sa zavesia kompletne zmontované automobilové dvere. Dvere sa zavesia postupne na jednotlivé závesy a vykoná sa meranie s nasledujúcim postupom. Ako prvé sa zavesia dvere na horný záves, po ustabilizovaní polohy dverí na kyvadle predĺžime na vonkajšiu stranu dverí pomocou opätovne zmazateľného spôsobu<sup>43</sup> smerovanie lanka, na ktorom sú dvere zavesené. Týmto spôsobom nám vznikne prvá úsečka potrebná pre určenie polohy ťažiska. Následne zmeníme miesto zavesenia dverí a dvere zavesíme na spodný záves dverí. Test opakuje rovnakým spôsobom. Po predĺžení smeru lanka na vonkajšiu časť dverí nám vznikne druhá priamka, potrebná pre určenie polohy ťažiska dverí. V mieste pretnutia

<sup>36</sup> Jedná sa hlavne o navrhnutie štruktúry rámu dverí a vnútorného panelu, ktoré vymedzia veľkosť dverí.

<sup>37</sup> Každé navýšenie výbavy vozidla umiestnenej na dverách navyšuje aj hmotnosť dverí.

<sup>38</sup> Jej veľkosť je úmerná veľkosti hmotnosti dverí.

<sup>39</sup> V prípade veľkosti trecích síl v závesoch, ako aj veľkosti potencionalnej energie dverí sa jedná o zníženie veľkosti hodnôt daných veličín.

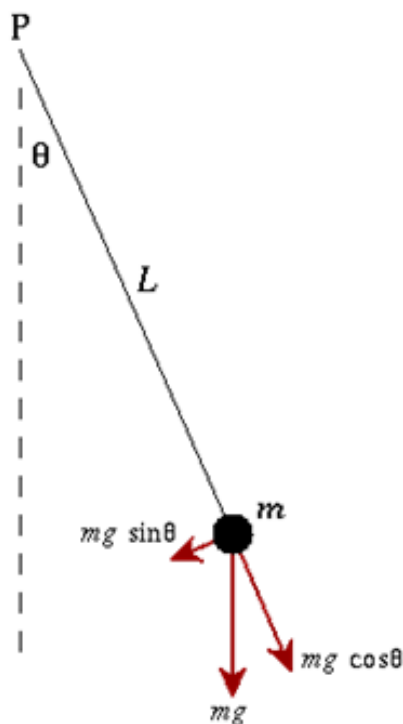
<sup>40</sup> Výnimku tvorí pretlakový efekt, pri ktorom je dôležitá plocha dverí a stlačovaný objem vzduchu, a preto nie je možné pri jeho výpočte uvažovať dvere ako hmotný bod.

<sup>41</sup> Jedná sa o rameno, na ktorom pôsobí gravitačná sila, ktorá vytvára na danom ramene jednotlivé príslušné momenty.

<sup>42</sup> V podstate je potrebný len voľne vysiaci motúz alebo tenké lanko. Nosnosť a pripevnenie motúza alebo lanka je nutné vhodne nadimenzovať, aby nedošlo po zavesení dverí k ich následnému pádu.

<sup>43</sup> Môže byť použitá tenká páska alebo zmazateľná fixka.

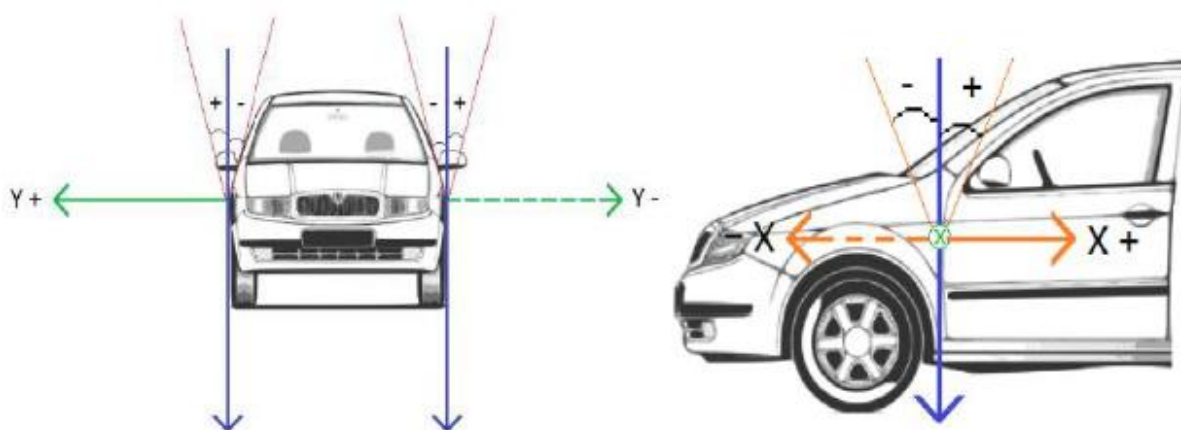
týchto dvoch priamok sa nachádza ťažisko dverí. Poloha ťažiska sa vyznačí na dvere a jednotlivé potrebné rozmery pre ďalší výpočet faktorov ovplyvňujúcich zatváranie dverí, sa presne odmerajú a zapisujú. Meranie je potrebné vykonať pre každé dvere automobilu, ktoré sa líšia vo veľkosti hmotnosti a v rozložení hmotnosti alebo rozmerovo. [29]



Obr.27 Zjednodušené zobrazenie kyvadlového testu potrebného pre určenie presnej polohy ťažiska. [29]

### 4.3 NAKLONENIE OSI ROTÁCIE

Dvere vykonávajú rotačný pohyb okolo svojej osi rotácie, ktorá prechádza cez stredy závesov dverí. Umiestnenie osi však nie je vertikálne, ale os rotácie dverí je mierne naklonená pod daným uhlom v priečnom, ale aj pozdĺžnom smere automobilu. Možnosti naklápania osi sú zobrazené na obr. 28. Modrou čiarou je znázornená os rotácie dverí prechádzajúca cez stredy závesov. Ďalej sú na obr. 28 zobrazené oranžovou farbou jednotlivé uhly a ich orientácia označená kladným a záporným znamienkom pre lepšie vyjadrenie zmyslu naklopenia osi. Pozdĺžny smer automobilu je klasicky označený písmenom  $x$  a priečny smer písmenom  $y$ . Pri bežnom nastavení automobilu býva os rotácie dverí naklonená v kladnom zmysle uhlu v pozdĺžnom smere ( $x$ ) a v zápornom zmysle v priečnom smere ( $y$ ). Pôvodné teoretické naklonenie osi rotácie vyplýva z konštrukčného návrhu automobilu. Pri nastavovaní dverí nie je možný veľký zásah do uhlov naklonenie osi rotácie, možné zmeny sú limitujúce tvarom dverí a požiadavkou na správne nastavenie dverí z energetického hľadiska. [30]



Obr.28 Zobrazenie polohy a možného nastavenia náklonu osi rotácie dverí v pozdĺžnom a priečnom smere na automobile. [27]

Pri správnom naklonení osi rotácie dverí v oboch smeroch ( pozdĺžnom aj priečnom ) vznikná pri otvorení dverí polohová energia, ktorá je súčasťou výslednej energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Vzniknutá polohová energia vytvára samozatvárací moment dverí, ktorý napomáha k zavretiu dverí, čo má za následok zníženie časti energie potrebnej pre zatvorenie dverí, ktorú musí dodať užívateľ manuálne pri zatváraní dverí. Veľkosť samozatváracieho momentu, ktorý napomáha k zatvoreniu dverí, okrem hmotnosti, určuje aj uhol naklonenia osi rotácie prechádzajúcej cez stredy závesov dverí. Nájdenie správneho kompromisu medzi konštrukčným návrhom, dizajnom, funkčnosťou a energetickou náročnosťou pri zatváraní dverí v oblasti určenia správnej veľkosti oboch uhlov naklonenia osi rotácie v oboch smeroch ( priečnom aj pozdĺžnom ) nie je vôbec jednoduché určiť a nájdenie tohto kompromisu je predmetom výskumu pri každom navrhovaní nového automobilu. Naklonenie osi vznikne miernym vsunutím horného závesu voči spodnému, smerom do vozidla ( prevedenie s vysúvaním dolného závesu od vozidla je veľmi zriedkavé ). [30]

#### 4.4 MECHANIZMUS ZATVÁRANIA

Odporové sily mechanizmu zatvárania dverí môžeme rozdeliť na odporovú treciu silu aretačného zariadenia dverí a na odporovú silu potrebnú na prekonanie odporu zámku pri zatvorení dverí. Z energetického hľadiska tvorí energia spotrebovaná odporovými silami mechanizmu zatvárania dverí približne 60 % z celej energie potrebnej pre zatvorenie dverí ( obr. 26 ).

##### 4.4.1 ODPOR ZÁMKU

Pre úplné zatvorenie dverí je nutné prekonať odporovú silu zámku, ktorý slúži na zaistenie dverí v zatvorenej polohe. Pre úplné zatvorenie a zaistenie dverí musí dôjsť k zapadnutiu jazýčka zámku do západky zámku pripevnenej na automobile. Veľkosť odporovej sily zámku je pevne daná a vychádza zo samotného konštrukčného návrhu zámku a odvíja sa hlavne od použitej pružiny, ktorá je manuálne prepojená s jazýčkom a stanovuje silu, ktorá je potrebná na zapadnutie jazýčka do západky. Veľkosť odporovej sily pružiny je daná tuhosťou použitej pružiny a dráhou, ktorú musí jazýček urobiť pri zatváraní<sup>44</sup>. Pri správnom nastavení dverí je veľkosť odporovej sily konštantná a daná spomínanou konštrukciou zámku. Nastavovanie veľkosti odporu zámku je možné a potrebné len pri nesprávnom nastavení dverí<sup>45</sup>. V takomto

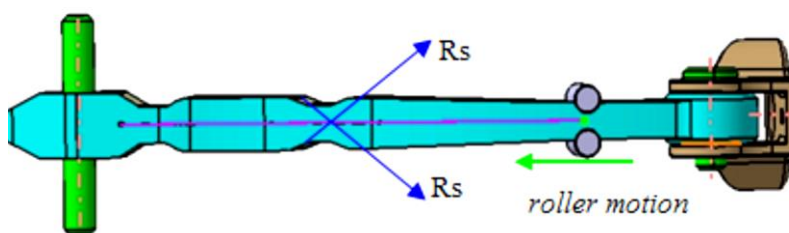
<sup>44</sup> Jedná sa o veľkosť výchylky pružiny z kľudovej polohy, ktorá je potrebná pre zapadnutie jazýčka do západky.

<sup>45</sup> Západka zámku na automobile nie je v správnej polohe voči samotnému zámku na dverách a tým pádom navyšuje veľkosť odporovej sily.

případe, kedy je odporová sila zámku nevyhovujúca je potrebné nastaviť polohy západky zámku na automobile tak, aby odpovedala príslušnej polohe zámku na dverách. [31]

#### 4.4.2 ODPOR ARETAČNÉHO ZARIADENIA

Aretačné zariadenie slúži na dverách, ako bezpečnostný prvok zabráňujúci samovoľnému otváraniu ale hlavne zatváraniu<sup>46</sup> dverí, udržiava otvorené dvere vo vopred určenej polohe. Na obr. 29 sa nachádza konštrukcia aretačného zariadenia s tromi polohami stopovacieho prvku. Hodnota veľkosti kladeného odporu ( veľkosť trecej sily ) je závislá na samotnom konštrukčnom prevedení aretačného zariadenia, na počte stopovacích polôh<sup>47</sup>, na type a tvrdosti použitej gummy, na hrúbke ramena aretačného zariadenia, na polomere vyhlbení stopovacích polôh a polomere šmyku, ktorý vychádza zo samotnej konštrukcie aretačného zariadenia. Veľkosť trecej sily aretačného zariadenia je veľmi dôležitá a musí byť kompromisom viacerých faktorov. Je nutné, aby bola dostatočne veľká pre zadržanie dverí v určenej polohe, ale len do takej miery, aby zbytočne nevytvárala väčší odpor pri zatváraní dverí ako je nevyhnutne potrebné pre správnu funkciu aretačného zariadenia. Predimenzovanie aretačného zariadenia za použitia väčších trecích síl, ako je potrebné, spôsobuje zbytočné navyšovanie energie potrebnej pre zatvorenie dverí. [31]



Obr.29 Aretačné zariadenie s trojbodovou polohou zastavenia dverí. [31]

#### 4.5 ODPOROVÉ SILY TESNENÍ

Osobný automobil disponuje primárnym a sekundárnym tesnením<sup>48</sup>, ktoré vytvárajú odporové sily pri zatváraní dverí. Použité tesnenia vytvárajú primárnu a sekundárnu odporovú silu tesnení v priebehu zatvárania podľa toho, ktoré tesnenie je práve stlačované. Úlohou tesnení je zabezpečiť zamedzenie vniknutia nechcenej tekutiny do interiéru automobilu. Z tohoto dôvodu musí byť nadimenzovanie prítlačnej sily na tesnenia dostatočné a umiestnenie tesnení na dverách a automobile musí spĺňať kritéria zadané výrobcom pre správnu funkciu tesnení. Pri tom, ako sa tesnenia pri zatváraní dverí stláčajú vzniká v tesneniach nelineárna elastická deformácia tlakom ( CLD ), ktorá spôsobuje vznik odporových síl tesnení, ktoré majú snahu sa vrátiť do pôvodnej kludovej polohy. Tesnenie sa počas priebehu zatvárania dverí deformuje postupne, z čoho vyplýva, že deformácia tesnení pri zatváraní dverí je nepretržitá, práve čo zabezpečuje garantovanú tesnosť tesnení. Veľkosť odporovej sily tesnení závisí od použitých materiálov pri výrobe, od konštrukcie prierezu tesnenia a od umiestnenia tesnení na automobi-

<sup>46</sup> Veľký význam má hlavne pri situácii, kedy vozidlo stojí v svahu.

<sup>47</sup> Obvykle bývajú tri stopovacie polohy, ale nájdu sa aj prevedenia aretačného zariadenia dverí s iným počtom stopovacích polôh.

<sup>48</sup> Môže sa vyskytnúť aj varianta automobilu s väčším počtom tesnení pre zabezpečenie dokonalého utesnenia daného spoja dverí s automobilom.

le. Pri nastavovaní dverí nie je možné korigovať samotnú veľkosť odporovej sily tesnení, ale pri zmene polohy dverí pomocou nastavenia dverí na pántoch alebo pri nastavení západky zámku sa mení aj vzájomná poloha dverí voči automobilu, čo má za následok aj zmenu veľkosti výslednej odporovej sily tesnení. Vo všeobecnosti platí, že čím menšia je zostatková medzera medzi dverami a automobilom po zatvorení dverí, tým väčšia je deformácia tesnení, čo spôsobí vznik väčšej odporovej sily tesnení. [32]

Odporová sila tesnení je závislá na čase, po určitej dobe dôjde k dosadnutiu tesnení a miernej trvalej deformácii tesnení, ktorá má za následok zníženie výslednej odporovej sily tesnení pri zatváraní dverí. V prípade tesnení používaných firmou JRL dochádza k takejto zmene približne po 72 hodinách od zidenia autobusu z výrobnéj linky. Samozrejmosťou, aby došlo k tejto trvalej deformácii, je nepretržité ponechanie úplne zatvorených dverí počas celej doby spomínaných 72 hodín. Tento jav má za následok následné zníženie celkovej energie potrebnej pre zatvorenie dverí. [26]

#### 4.6 TRENIE V ZÁVESOCH

Celú hmotnosť dverí pri otvorení dverí nesú práve závesy dverí. Pri správnom nastavení dverí je rozloženie záťaže medzi horným a spodným závesom rovnaké, to znamená, že aj veľkosť trecej sily, ktorú vyvolá točivý moment pri zatváraní dverí je pri danom nastavení dverí rozdelená rovným dielom medzi oba závesy<sup>49</sup>. Veľkosť trecích síl v závesoch je konštantná v celom priebehu otvárania a zatvárania dverí a nie je závislá ani na rýchlosti zatvárania dverí. Tretia sila je práve ďalším faktorom, ktorý ovplyvňuje veľkosť gravitačnej sily pôsobiacej v ťažisku, ktorej veľkosť priamo závisí na hmotnosti dverí ako aj samotná poloha ťažiska, ktorá určuje aj rameno pôsobenia gravitačnej sily. Poloha ťažiska je mierne vychýlená voči osi rotácii aj v priečnom, aj v pozdĺžnom smere, čo má za následok vznik krútiaceho momentu od gravitačnej sily v oboch smeroch, aj v priečnom, aj v pozdĺžnom. Vzniknuté trecie sily prispievajú k zvýšeniu celkovej energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Samozrejme výrazný vplyv na veľkosť trenia v závesoch má aj konštrukcia otočného spoja ramena a čapu závesu, na ktorej je zavesená celá hmotnosť dverí. Podľa veľkosti trecieho koeficientu v spoji medzi ramenom a čapom závesu sa odvíja aj veľkosť výslednej trecej sily. Vhodnou úpravou daného trecieho koeficientu pri konštrukšnom návrhu závesu je možné upraviť aj veľkosť výslednej odporovej trecej sily vznikajúcej v závesoch pri zatváraní dverí. Nastavovanie polohy dverí na pántoch je najčastejšou, najjednoduchšou a najdôležitejšou formou úpravy nastavenia dverí na výrobnéj linke z energetického hľadiska, pokiaľ je energia potrebná pre zatvorenie dverí na práve nastavovaných dverách príliš vysoká. [31]

#### 4.7 PRETLAKOVÝ EFEKT V KABÍNE

Pri zatváraní bočných dverí dochádza k zmenšovaniu aktuálneho objemu kabíny, ktorý je pri otvorených dverách rozšírený práve o priestor otvorených dverí. Pri zatváraní dverí tlačia dvere vzduch smerom do vnútra kabíny, čo má za následok zvýšenie tlaku v kabíne. Tento vzniknutý pretlak v kabíne kladie odpor pri zatváraní dverí, tlak sa snaží zatvárané dvere otvárať<sup>50</sup>. Tento fakt má za následok stratu časti zatváracieho energie, ktorá je spotrebovaná na prekonanie vzniknutého pretlaku v kabíne pôsobiaceho na dvere.

Pre výpočet a vyhodnotenie veľkosti tlaku v kabíne sa používa zákon zachovania hmotnosti, Bernoulliho rovnica a v prípade potreby, aj zákon o ideálnom plyne. Veľkosť vzniknutého

<sup>49</sup> Veľkosť vyvolanej trecej sily je rovnaká v hornom aj dolnom závese.

<sup>50</sup> Posunúť ich v opačnom smere voči pohybu, ktorý práve vykonávajú.



podtlaku závisí od samotnej konštrukcii vozu. Dôležitú úlohu zohráva veľkosť kabíny ako aj veľkosť vstupovacieho otvoru ( rovnaká ako veľkosť dverí ). Ďalším dôležitým faktorom určujúcim veľkosť pretlaku v kabíne, je veľkosť<sup>51</sup> odvetrávacej oblasti<sup>52</sup>. Do odvetrávacej oblasti zaradíme aj oblasť dverovej medzery zatváraných dverí. Pri zmenšení odvetrávacej oblasti rastie pretlakový efekt, ktorý je najväčší pri uzatvorení všetkých dverí, okien a výduchov HVAC systému<sup>53</sup>, cez ktoré by mohol vzduch z kabíny prúdiť. Merania spojené s kontrolou správnosti nastavenia dverí je potrebné vykonávať práve pri najvyššej možnej hodnote pretlakového efektu, aby energia spotrebovávaná na prekonanie pretlakového efektu bola najvyššia možná. V rámci meraných vozidiel Land Rover Defender hrá pretlakový efekt v kabíne veľkú rolu, keďže daný model automobilu má garantovanú brodivosť až 0,9 m, musí byť taktiež vybavený dostatočne odizolovanou kabinou, aby v takto hlbokom brode nedošlo k nechcenému preniknutiu vody a vlhkosti do interiéru. [26]

---

<sup>51</sup> Čím menšia je veľkosť odvetrávacej oblasti, tým väčší pretlak vzniká.

<sup>52</sup> Priestor, cez ktorý môže vzduch z kabíny unikať von.

<sup>53</sup> Je potrebné zavrieť manuálne pomocou ovládača klapky prúdenia vzduchu všetky výduchy v kabíne, ktoré sú daným systémom ovládania klapky vybavené. Následne je potrebné aj vypnúť celý HVAC systém, aby nebolo umožnené prúdenie vzduchu ani cez zvyšné výduchy, ktoré dokáže systém pri vypnutí uzavrieť.

## 5 SÚČASNÁ METÓDA

Pri konštrukčnom návrhu automobilu ako celku, prebieha počas celého vývoja, ako už aj počas samotnej konštrukcii prototypov v predséριοvej výrobe nespočetné množstvo meraní a pokusov, pri ktorých sa používa veľké množstvo meracích metód a techník pokiaľ sa všetky potrebné atribúty a komponenty automobilu nenastavia a nedostanú sa na požadované, akceptovateľné hodnoty. Výnimkou nie sú ani bočné automobilové dvere, ktorých správne nastavenie zohráva veľmi dôležitú úlohu pri hodnotení kvality a dielenského spracovania automobilu. Dvere sú prvou súčasťou automobilu, s ktorou príde zákazník pravdepodobne do fyzického kontaktu. Taktiež pri každom využití automobilu sú to práve dvere, ktoré je nevyhnutné použiť pre nastúpenie alebo vystúpenie z vozidla. Práve z týchto spomínaných dôvodov<sup>54</sup> je naozaj nevyhnutné, aby boli dvere správne navrhnuté, ale aj nastavené. Z pohľadu užívateľa<sup>55</sup> je v podstate najdôležitejším kritériom správnosti nastavenia dverí energia, ktorú je potrebné vyvinúť na úplné zatvorenie dverí. Ďalším aspektom, ktorý užívateľ pri zatváraní dverí vníma je zvuk<sup>56</sup>, ktorý dvere vydajú pri úplnom zatvorení. Samotný zvukový efekt pri zavretí dverí najviac súvisí so vzniknutým pretlakovým efektom v kabíne.

Pre správne nastavenie bočných dverí zo silového a energetického hľadiska je potrebná pri vývoji dverí ako aj celého automobilu, adekvátna metóda pre čo najpresnejšie určenie energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Pri vývoji vozidla Land Rover Defender 2020<sup>57</sup> sa v JLR používa meracie zariadenie, ktoré v podstate pracuje na princípe silomeru.

### 5.1 MERACIE ZARIADENIE

Celé meracie zariadenie používané pre danú metódu merania sa skladá z viacerých komponentov. Medzi hlavné komponenty patria:

- **Merač:** skladá sa z viacerých primárnych súčiastok
- **Ovládacia skrinka merača:** na pripojenie k meraču sa používa pripájací kábel
- **Podtlakové prísavky:** sú potrebné pre uchytenie k bočným sklám
- **Spojovacie oceľové lano:** je ukončené nalisovanými okami pre spojenie s háčikmi
- **Šponovací mechanizmus:** slúži pre došponovanie oceľového lana na požadovaný rozmer
- **Predlžovacia lišta:** používa sa na predĺženie meriaceho zariadenia na požadovaný rozmer v závislosti na vnútornej šírke automobilu
- **Umiestňovacie šablóny:** potrebné pre presné umiestnenie prísavok

Miesto uchytenia podtlakových prísaviek na sklo automobilu nie je náhodné, ale je presne určené z dôvodu presnosti následného výpočtu energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Pri každom opakovaní merania potrebujeme zaručiť totožnú pozíciu meracieho zariadenia voči

<sup>54</sup> Medzi ďalšie hlavné dôvody, prečo je potrebné správne nastavenie dverí, okrem bežnej funkčnosti dverí, ako často využívanej súčasti automobilu, patrí jednoznačne pasívna bezpečnosť pasažierov počas jazdy ( hlavne pri kolízii ), ako aj bezpečnosť pri ich samotnom používaní ( otváranie, zatváranie ) a samozrejme akustický komfort počas jazdy ako aj zvuk, ktorý dvere vydávajú pri zatvorení, ako aj dokonalá izolácia z dôvodu, aby sa do vozidla nedostala voda alebo celkovo vlhkosť počas jazdy v zhoršených povetnostných podmienkach.

<sup>55</sup> Osoba, ktorá akýmkoľvek spôsobom využíva vozidlo.

<sup>56</sup> Diplomová práca je zameraná na skúmanie energie potrebnej pre zatvorenie dverí, a preto sa zvukovým prejavom dverí pri zatvorení ďalej nebude bližšie špecifikovať a rozoberať.

<sup>57</sup> Obdobné meracie zariadenia a metódy merania energie potrebnej pre zatvorenie dverí sú používané aj pri vývoji a konštrukcii iných modelov automobilov.

osi rotácii dverí tak, aby sme mali vždy zachovaný rovnaký polomer otáčania. Z tohoto dôvodu boli pre každý pár dverí<sup>58</sup> vyrobené jedinečné umiestňovacie šablóny z plastového materiálu, pomocou ktorých sa zaistí presná pozícia meracieho zariadenia vo výškovom aj pozdĺžnom smere.

Pri meraní je merač, ako je názorne vidieť na obr. 30, prichytený pomocou podtlakovej prísavky ( obr. 30 súčiastka č. 6 ) ku sklu na jednej strane automobilu. Meranou veličinou je predĺženie pružiny ( obr. 30 súčiastka č. 1 ) v milimetroch, ktorá je hlavnou súčasťou merača. Výrobcom garantovaná presnosť merača je jeden milimeter. Tuhosť použitej pružiny je známa veličina, taktiež garantovaná výrobcom meracieho zariadenia a je kľúčová pre ďalší výpočet energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Ďalej merač obsahuje snímač predĺženia ( obr. 30 súčiastka č. 2 ), meraciu tyč ( obr. 30 súčiastka č. 3 ) s nastavovacou skrutkou<sup>59</sup> ( obr. 30 súčiastka č. 4 ) a koncovka ( obr. 30 súčiastka č. 5 ) pre pripojenie adaptéra s káblom pripájajúceho merač s ovládacou skrinkou.

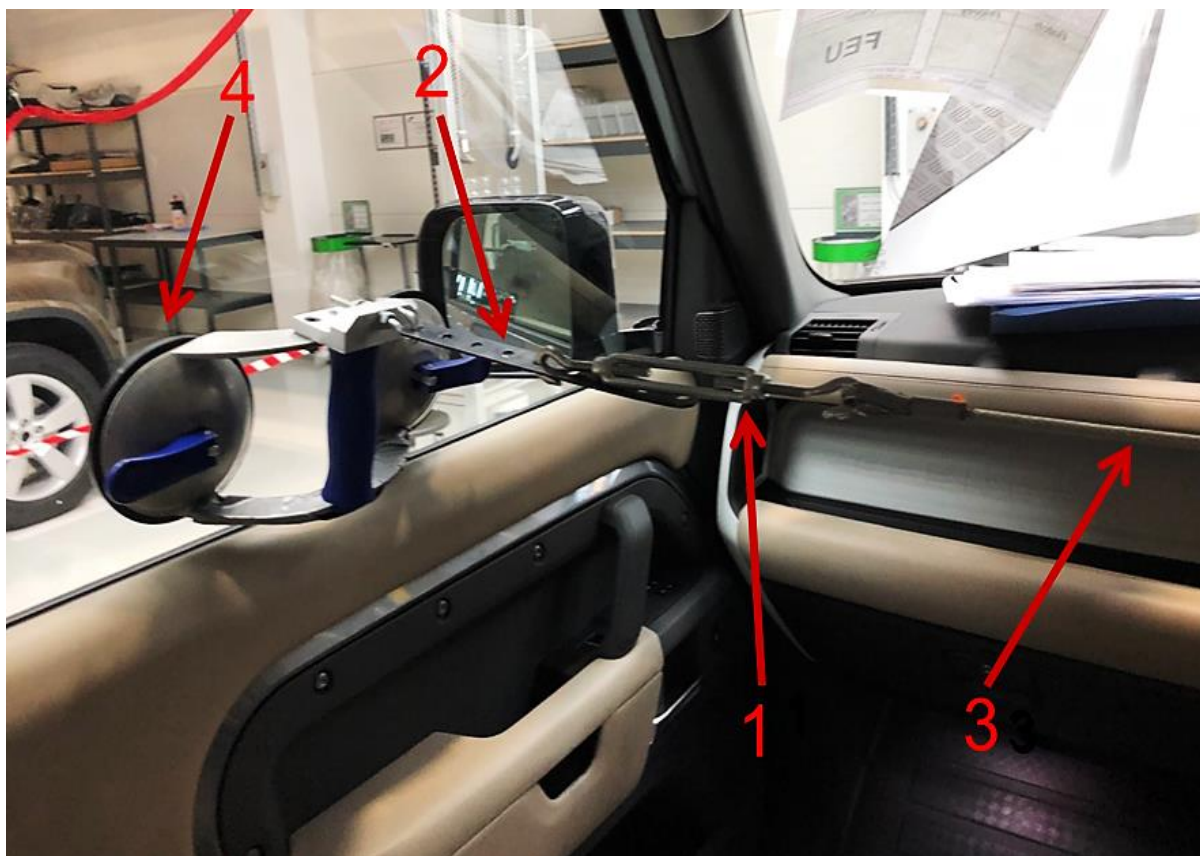


*Obr.30 Merač predĺženia prichytený na sklo pravých predných dverí automobilu Land Rover Defender 90 pri meraní. [26]*

<sup>58</sup> Jedná sa o tri páry dverí, a to predný a zadný pár dverí na modely Land Rover Defender 110 a o predný pár dverí na modely Land Rover Defender 90 (jedná sa o trojdverové vozidlo). Pri vývoji nového modelu automobilu je potrebné vždy vyrobiť nové umiestňovacie šablóny na mieru, podľa vopred teoreticky vypočítanej veľkosti polomeru otáčania.

<sup>59</sup> Slúži na presne nastavenie nulového predpätia pružiny. Keďže meriame predĺženie pružiny, je nevyhnutné nastaviť nulovú hodnotu predpätia pružiny, aby neboli výsledky merania žiadnym spôsobom skreslené.

Druhá strana meracieho zariadenia je podobne ako merač, uchytená pomocou podtlakových prísaviek lana ( obr. 31 súčiastka č. 4 ) ku sklu a jej poloha je presne určená pomocou umiestňovacej šablóny. Na obr. 31 sa nachádza uchytenie druhého konca meracieho zariadenia k oknu bočných dverí. Na tejto strane meracieho zariadenia sa nachádza šponovací prvok lana ( obr. 31 súčiastka č. 1 ) s predĺžovacou lištou lana<sup>60</sup> ( obr. 31 súčiastka č. 2 ) pomocou, ktorých sa nastavuje potrebná dĺžka pre správne prepojenie oboch koncov meracieho zariadenia, keďže dĺžka oceľového spojovacieho lana ( obr. 31 súčiastka č. 3 ) je konštantná. Pretože meracie zariadenie je univerzálne, určené pre viac druhov a modelov vozidiel, ktorých vnútorná šírka je často rozdielna, je potrebné pri prechode na iný model vozidla vždy prestaviť aj dĺžku meracieho zariadenia.



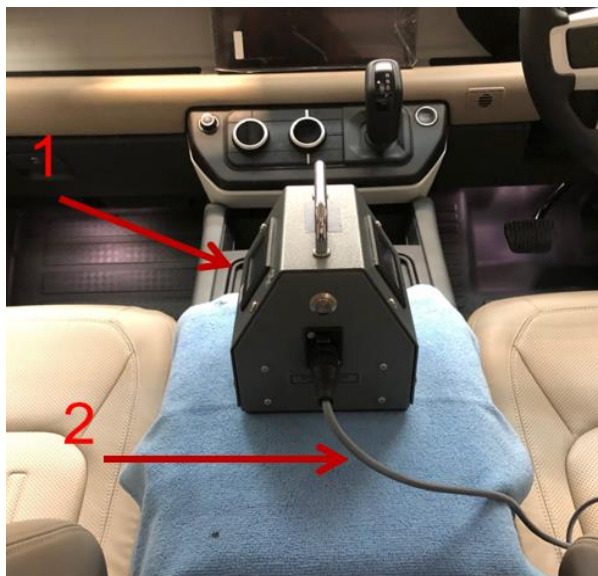
*Obr.31 Predĺžovací a šponovací mechanizmus prichytený na sklo ľavých predných dverí automobilu Land Rover Defender 90 pri meraní. [26]*

Výstupnú informáciu<sup>61</sup> z merača predĺženia nám zobrazuje ovládacia skrinka ( obr. 32 súčiastka č. 1 ) prostredníctvom displeja, ktorým disponuje. Informácie sú vedené z merača do ovládacej skrinky prostredníctvom prepájacieho káblu ( obr. 31 súčiastka č. 2 ). Ovládacia skrinka musí byť umiestnená tak, aby mal obsluhujúci personál stojaci mimo vozidla dostatočný výhľad na displej a vedel odčítať namerané hodnoty.

<sup>60</sup> Má predvrtaných 9 polôh, do ktorých sa pomocou háčikov uchytyí na jednej strane podtlaková prísavka a na druhej strane oceľové spojovacie lano.

<sup>61</sup> Veľkosť hodnoty predĺženia pružiny v milimetroch, ktorá je následne prevádzaná na silu a energiu potrebnú pre zatvorenie bočných automobilových dverí.





*Obr.32 Ovládacia skrinka merača a prepájaci kábel pri meraní vo vozidle Land Rover Defender 90. [26]*

## 5.2 MERANIE

Pre samotné meranie potrebujeme kompletne meracie zariadenie vrátene umiestňovacích šablón a automobil<sup>62</sup>, na ktorom bude meranie prebiehať. Meracie zariadenie, zvlášť umiestňovanie podtlakových prísaviek na presné miesto na bočnom okne automobilu za pomoci umiestňovacích šablón, si vyžaduje dvoch obsluhujúcich pracovníkov z dôvodu lepšej jednoduchšej bezpečnejšej a rýchlejšej manipulácii s meracím zariadením a samotného pripevnenia podtlakových prísaviek.

### 5.2.1 PRÍPRAVA MERANIA

Príprava merania obnáša viacero dôležitých krokov, ktoré sa nemôžu vynechať. V prvom rade je potrebné pripraviť automobil, na ktorom sa meranie bude uskutočňovať. Pri meraní musíme nastaviť automobil do najhorších možných podmienok z hľadiska veľkosti kladeného odporu pri zatváraní dverí. To znamená, že musíme merať pri najväčšej hodnote pretlakového efektu v kabíne. Aby sme dosiahli tento fakt, je potrebné urobiť niekoľko opatrení. Všetky okná<sup>63</sup> a dvere musia byť úplne zatvorené, taktiež všetky výduchy HVAC systému<sup>64</sup> v aute musia byť manuálne zatvorené ovládačom klapky prúdenia vzduchu cez daný výdych, ktorý sa nachádza vedľa výdychu. Následne je potrebné úplne vypnúť HVAC systém, aby nemohol prúdiť vzduch ani cez výduchy, ktoré nemajú z interiéru automobilu manuálne ovládateľnú klapku výduchov.

Ďalším aspektom, ktorý musí automobil spĺňať, aby nedošlo ku skresleniu získaných výsledkov je dostatočná trvalá deformácia tesnení na dverách. Automobil vhodný pre meranie energie potrebnej pre zatvorenie dverí musí stáť po zidení z výrobnéj linky v pokoji so zavretými

<sup>62</sup> Vo väčšine prípadov sa jedná o viacero vozidiel z dôvodu verifikácie a validizácie výsledkov meraní. Avšak potrebná príprava a jej jednotlivé časti sú vždy rovnaké.

<sup>63</sup> Aj strešné okno, ak ním automobil disponuje.

<sup>64</sup> Počet výduchov je v jednotlivých variantách výbavy rozdielny a závisí hlavne na konkrétnej konfigurácii automobilu. Pri konfigurácii automobilu s tretím radom sedadiel je potrebné manuálne pozatvárať aj tieto prídavné výduchy.

a zamknutými dverami minimálne 72 hodín. Práve po takomto čase príde k dostatočnej trvalej deformácii tesnení a ich odporové sily, ktoré sú vyvolané pri zatváraní klesnú. [26]

Takto pripravený automobil, spĺňajúci všetky podmienky uvedené vyššie, je vhodný na meranie energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Po týchto úkonoch nasleduje príprava samotného meracieho zariadenia. Meracie zariadenie je potrebné po častiach priniesť k meranému automobilu. Po vykonaní všetkých opatrení popísaných vyššie, je meracie zariadenie aplikované na automobil. V prvom rade je potrebné prichytiť merač pomocou prísaviek na bočné okno automobilu na presne určené miesto za pomoci umiestňovacích šablón. Tento úkon opakujeme aj na druhej strane vozidla a na okno príslušných dverí umiestnime podtlakové prísavky s predlžovacím a šponovacím mechanizmom. Následne umiestnime ovládaciu skrinku do automobilu na vhodné miesto<sup>65</sup>, dostatočne dobre viditeľné z pohľadu osoby stojacej mimo vozidla, pozerajúcej do vozidla cez bočné okno príslušných dverí, na ktorých sa práve vykonáva meranie. Ovládaciu skrinku spojíme s meračom pomocou pripájacieho kábla. Následne priložíme oceľové lano a nastavíme požadovanú dĺžku pomocou predlžovacej lišty, tak aby ostalo lano mierne voľné. Ďalším úkonom je prepojenie merača pomocou oceľového lana so šponovacím prvkom, ktorý je pripevnený k predlžovacej lište a vopred ponechanú voľnosť vymedzíme pomocou šponovacieho prvku. Následne sa prejde ku manuálnej kalibrácii merača. Uvoľníme nastavovaciu skrutku a meraciu tyč posúvame po oceľovom lane dovtedy, pokiaľ nedosiahneme nulové predpätie pružiny. Správne nastavené meracie zariadenie vykazuje pred začiatkom merania na displeji ovládacej skrinky nulovú hodnotu predĺženia. Správne nastavenie meracieho zariadenia sa nachádza na obr. 33, kde je nastavené predpätie pružiny naozaj nulové.



*Obr.33 Správne nastavenie a kalibrácia meracieho zariadenia pripraveného pre meranie vozidla Land Rover Defender 110. [26]*

<sup>65</sup> Za najvhodnejšie miesto sa javí predná lakt'ová opierka pri meraní predných dverí a zadná lakt'ová opierka pri meraní zadných dverí ( ak ňou daný automobil disponuje ).

Takto pripravené meracie zariadenie ( ako vidieť na obr. 33 ) umiestnené v automobile, je už pripravené na samotné meranie<sup>66</sup>. Na obr. 34 je pohľad na celé meranie z perspektívy obsluhujúceho pracovníka. Z obr. 34 je zrejmé a názorne viditeľná dôležitosť správneho umiestnenia ovládacej skrinky s displejom. Pri nesprávnom umiestnení nebudú hodnoty predĺženia možné z displeja odčítať z dôvodu prekrytia s podtlakovými prísavkami meracieho zariadenia alebo z dôvodu odrazu svetla o okolných predmetov v bočnom okne.

### 5.2.2 PRIEBEH MERANIA

Celé meranie je založené na hľadaní najmenšej hodnoty energie potrebnej pre zatvorenie bočných dverí. Meranie prebieha formou hľadania čo najmenšieho možného predĺženia, pri ktorom ešte dôjde k úplnému zatvoreniu príslušných meraných dverí. Obsluhujúci pracovník si pootvorí dvere a chytí ich končekmi prstov za príslušnú bočnú hranu<sup>67</sup> ( obr. 34 miesto, na ktoré ukazuje šípka ), následne dvere otvára, čím sa natáhuje pružinu merača. Na displeji sa zobrazuje aktuálne predĺženie pružiny. Pri náhodnej hodnote sa zastaví a pustí dvere. Natiahnutá pružina sa vracia do svojej pôvodnej polohy, čím zatvára dvere. Obsluha si zapamätá hodnotu, pri ktorej dvere pustila. Ak pri tejto hodnote došlo k úplnému zatvoreniu dverí, je potrebné hodnotu predĺženia pružiny pri ďalšom pokuse znížiť, pretože sila vyvolaná v pružine bola dostatočne veľká na to, aby dvere zatvorila. Ale ak naopak nedošlo k úplnému zatvoreniu dverí, sila vyvolaná v pružine bola nedostačujúca a treba hodnotu predĺženia a tým pádom aj sily zvýšiť. Tento proces opakujeme dovtedy, pokiaľ nenájde hraničnú hodnotu predĺženia, pri ktorej ešte dôjde k úplnému zavretiu dverí a naopak pri znížení hodnoty predĺženia o 1 milimeter už nedôjde k úplnému zatvoreniu dverí.



*Obr.34 Pohľad na meracie zariadenie počas merania na vozidle Land Rover Defender 110 z perspektívy obsluhujúceho pracovníka. [26]*

<sup>66</sup> Samozrejme ešte je nutné natočiť ovládaciú skrinku o 90 stupňov tak, aby bol na displej dobrý výhľad z vonku cez bočné okno.

<sup>67</sup> Pri meraní na predných dverách sa jedná o hranu dverí dovierajúcu sa o B stĺpik. Pri meraní zadných dverí sa jedná o hranu dverí, ktorá sa doviera o C stĺpik automobilu.

Takto zistenú hodnotu si zapíšeme a následne ju vyhodnotíme z energetického hľadiska. Namieraná hodnota nesmie presiahnuť danú vopred určenú ešte užívateľom akceptovateľnú hodnotu. Pokiaľ namieraná hodnota presiahne túto danú hodnotu, konkrétne dvere vozidla, ktoré nevyhovujú, musia byť znovu prestavené a nastavené lepšie a meranie prebehne odznova.

Konkrétne akceptovateľné hraničné hodnoty energií potrebných pre zatvorenie dverí, ako aj konkrétne výpočtové vzorce potrebné na prevod namieraného predĺženia na silu a energiu potrebnú pre zatvorenie dverí, nemôžu byť zverejnené z dôvodu nutnosti utajenia výrobného tajomstva firmy JRL.

Vo všeobecnosti pri uvažovaní použitia ideálnej pružiny, platia pre výpočet sily ideálnej pružiny, práce, ktorá je potrebná pre vychýlenie ideálnej pružiny a potencionalnej energie ideálnej pružiny nasledujúce vzťahy:

$$W = \int_0^y F dx = \int_0^y k \cdot x dx = \frac{1}{2} \cdot k \cdot y^2, \quad (1)$$

$$F = k \cdot x, \quad (2)$$

$$E_p = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2, \quad (3)$$

kde:

W – práca potrebná na vychýlenie ideálnej pružiny z rovnovážnej polohy o dĺžku y [ J ],

F – sila ideálnej pružiny [ N ],

E<sub>p</sub> – potencionalna energia pružnosti ideálnej pružiny [ J ],

k – tuhosť ideálnej pružiny [ N·m<sup>-1</sup> ],

x – výchylka z rovnovážnej polohy pružiny [ m ].

## 5.3 ZHODNOTENIE METÓDY

Súčasne používaná metóda s meracím zariadením založeným na meraní predĺženia pružiny a následným prevodom predĺženia na silu a energiu potrebnú pre zatvorenie dverí má množstvo výhod pri použití v rámci vývoja, konštrukčného návrhu a merania prototypov. Avšak daná metóda nie je vhodná pre nasadenie do sériovej výroby z viacerých dôvodov, a preto pri úvahe o nasadení do sériovej výroby na výrobnú linku jednoznačne prevažujú nevýhody.

### 5.3.1 NEVÝHODY METÓDY

Medzi najväčšie nevýhody danej metódy s meračom predĺženia jednoznačne patrí množstvo komponentov, ktoré sú súčasťou meracieho zariadenia a bez ich prítomnosti by meracie zariadenie nefungovalo tak, ako je požadované. Z tejto nevýhody nepriamo vyplývajú ďalšie negatívne stránky tejto metódy merania energie potrebnej pre zatváranie dverí. Medzi tieto negatíva patrí veľmi zdĺhavá a pomerne obtiažna montáž jednotlivých komponentov na okná bočných dverí. Je nutné zabezpečiť presnú polohu podtlakových prísaviek na oknách dverí pomocou umiestňovacích šablón, z čoho vyplýva ďalšia nevýhoda tejto metódy, a to potreba



dvoch obsluhujúcich pracovníkov. Prísavka s meračom je pomerne rozmerná a je takmer nemožné, aby jeden pracovník na linke sám inštaloval na okno dverí danú prísavku s meračom a zároveň určoval a kontroloval presnú polohu prísavky pomocou umiestňovacej šablóny. Tento úkon je pre jednu osobu pomerne nebezpečný z hľadiska možnosti poškodenia automobilu alebo dokonca aj z dôvodu možnosti ohrozenia svojho zdravia alebo zdravia iného spolupracovníka na výrobnom pracovisku. Rozmery a hmotnosť celého meracieho zariadenia sú pomerne veľké a manipulácia s tak rozmerným zariadením na výrobnéj linke<sup>68</sup> je celkovo nepredstaviteľná a zbytočne riziková<sup>69</sup>. Problémová je aj samotná montáž a manipulácia s meracím zariadením v interiéri automobilu, pretože je vždy pár dverí medzi sebou prepojený. Z toho dôvodu nie je možné pre vstup do vozidla dostatočne otvoriť dvere, na ktorých sa meracie zariadenie nachádza a vstupovať do interiéru je možné len cez ďalšie nepoužívané dvere v inom rade sedadiel<sup>70</sup>.

Ďalšou veľkou nevýhodou danej metódy v sériovej výrobe je nutnosť vstupu do interiéru automobilu. Pokiaľ to nie je nevyhnutne potrebné je v každom prípade vhodné sa vyhnúť akémukoľvek neopodstatnenému zásahu alebo vstupu do interiéru, a preto ak je to možné, treba čo najväčšie množstvo kontrolných meraní uskutočniť z exteriéru<sup>71</sup>. S použitím podtlakových prísaviek na okná dverí z vnútornej strany sa spája ďalšie negatívum, a to potreba čistenia bočných skiel z vnútornej strany po odlepení prísaviek, čo si vyžaduje ďalší nutný vstup do interiéru a dokonca použitie čistiacich prostriedkov, ktoré zo sebou prinášajú ďalšie riziká<sup>72</sup>.

Ako bolo spomínané v časti, ktorá sa venuje príprave meracieho zariadenia na samotné meranie, je merač predĺženia nutné manuálne kalibrovať pomocou nastavovacej skrutky pri každom premiestnení meracieho zariadenia na ďalší pár dverí. S každou manuálnou kalibráciou sa spája aj ďalšia nevýhoda, ktorou je ovplyvnenie merania ľudským faktorom. Spomínané ovplyvnenie merania ľudským faktorom je vidieť aj pri samotnom priebehu merania, kedy je nutné opustiť s prstami priestor bočnej hrany dverí v nekonečne malom časovom intervale tak, aby sa pružine neodobrala žiadna energia po tom, ako je natiahnutá na požadovanú hodnotu predĺženia. Avšak rýchlosť pohybu ľudskej ruky je konečná, a preto vždy odoberie istú časť energie pružiny. Veľkosť týchto strát je ale v kontexte meraní energie potrebnej pre zatvorenie dverí pomerne zanedbateľná.

### 5.3.2 VÝHODY METÓDY

Jednoznačne najväčšou výhodou danej metódy je takmer presne určená hodnota energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí. Ak zanedbáme chybu merania spôsobenú ľudským faktorom<sup>73</sup>, tak nameraná energia odpovedá reálnej hodnote energii potrebnej pre zatvorenie dverí. Pri návrhu a vývoji automobilu a jeho dverí je daná metóda nenahraditeľná, a práve pri návrhu

<sup>68</sup> Priestorová ponuka možností odkladacích priestorov je na výrobnéj linke obmedzená.

<sup>69</sup> Ak by naozaj došlo k používaniu tejto metódy na výrobnéj linke.

<sup>70</sup> Toto negatívum sa najviac prejavuje pri trojdverových automobiloch (ako napríklad Land Rover Defender), ktoré nedisponujú ďalším párom dverí, ktorý by sa počas merania dal použiť pre vstup do interiéru, a preto je nutné vstupovať cez batožinový priestor a sklopiť druhý rad sedadiel. Táto situácia je komplikovaná aj pri vývojových meraniach, pri ktorých (narozdiel od sériovej výroby) sa však čas potrebný pre prekonanie všetkých komplikácií nájde.

<sup>71</sup> Pokiaľ je to samozrejme technicky možné.

<sup>72</sup> Pri použití čistiacich prostriedkov na sklá v interiéri môže dôjsť k náhodnému nechcenému poškodeniu interiérových súčastí automobilu (jedná sa hlavne o kožené povrchy).

<sup>73</sup> V kontexte toho, že merač meria po milimetroch a rozdiely v kontrolných meraniach pri validizácii výsledkov sú minimálne, môžeme považovať túto chybu naozaj za zanedbateľnú pre účely zistenia potrebnej energie pre zatvorenie dverí.

a vývoji je potrebné vedieť presnú hodnotu energii. Ďalej je potrebné vedieť presnú hodnotu danej energie pre ďalšie možné navrhnutie inej metódy pre určovanie energie potrebnej pre zatvorenie dverí, ktorá bude jednoduchšie aplikovateľná vo výrobnom procese na výrobnéj linke.

Pre účely posúdenia správnosti nastavenia dverí na výrobnéj linke nie je potrebné vedieť presnú hodnotu energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Potrebná je len hraničná hodnota<sup>74</sup> energie potrebnej pre zatvorenie dverí a metóda, ktorou dokážeme určiť, či je nastavenie dverí správne, a teda energia potrebná pre úplne zatvorenie sa ešte nachádza vo vyhovujúcich akceptovateľných hodnotách voči spomínanej, vopred určenej hraničnej hodnote.

---

<sup>74</sup> Táto hodnota je získaná práve pri vývoji automobilu aj vďaka použitiu práve tejto metódy s meračom predĺženia pružiny.

## 6 NAVRHNUTÁ METÓDA

Výroba automobilov podlieha v poslednej dobe stále čoraz väčšej robotizácii a automatizácii, ktorá je spojená s implementáciou veľkého množstva nových, moderných a inovatívnych metód a spôsobov merania všetkých potrebných veličín v rámci priebehu celého výrobného procesu automobilu<sup>75</sup>. Pri hromadnej sériovej výrobe veľkého množstva automobilov na výrobnéj linke prebieha mnoho úkonov, ktoré je nutné skontrolovať a verifikovať za použitia vhodnej metódy a vhodného meracieho zariadenia. Jedným z týchto úkonov, ktorých správnosť je nutné overiť pomocou merania je aj nastavenie bočných dverí z hľadiska energie potrebnej pri zatváraní dverí. Navrhnutá metóda pre tento účel musí spĺňať viacero požadovaných kritérií. Hlavným rozhodujúcim kritériom možnosti implementovania metódy do výrobného procesu, je čas potrebný na priebeh merania, ktorý je pre nastavovanie bočných dverí na výrobnéj linke vyhradený. Časový interval vyhradený pre nastavovanie dverí je pomerne krátky, preto je nevyhnutné, aby celé meranie správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí, bolo dostatočne rýchle natoľko, aby neboli nutné žiadne zásahy do časového harmonogramu výrobnéj linky. Pri kontrole nastavenia dverí z energetického hľadiska v rámci sériovej výroby na výrobnéj linke nie je potrebné poznať presnú hodnotu energie potrebnej pre zatvorenie dverí ako je tomu pri vývoji a pri testovaní predsériových konceptov<sup>76</sup>, ale je len nutné zistiť či vykonané nastavenie dverí je vyhovujúce alebo už nevyhovujúce z energetického hľadiska. Práve pre tento účel je navrhnutá metóda určená a prispôbená, a preto je aj cielene vybrané meracie zariadenie použité pre meranie v rámci tejto metódy. Pri výbere vhodného zariadenia muselo dôjsť ku sklbeniu všetkých požadovaných zadaných parametrov. Výsledné rozhodnutie padlo na meracie zariadenie, ktoré meria rýchlosť bočných dverí pri zatváraní.

### 6.1 MERACIE ZARIADENIE

Pre požadované účely merania správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí, bol vybraný merač rýchlosti EZSPEED od popredného výrobcu meracích zariadení používaných v automobilovom priemysle, od firmy EZ Metrology. Dané meracie zariadenie spĺňa všetky požiadavky, ktoré sú v rámci merania správnosti nastavenia dverí na výrobnéj linke požadované. Použité meracie zariadenie pozostáva z troch hlavných komponentov nevyhnutných pre správny chod meracieho zariadenia:

- **Merač rýchlosti**
- **Prísavka s odrazovou plochou**
- **Nabíjačka batérie**

Meracie zariadenie pre meranie rýchlosti od firmy EZ Metrology so všetkým príslušenstvom zabalené v praktickom, ľahko prenosnom, prepravnom ochrannom kufríku sa nachádza na obr. 35. Kufrík s meracím zariadením obsahuje samotný merač rýchlosti ( obr. 35 súčiastka č. 1 ), ktorý tvorí spolu s prísavek s odrazovou plochou ( obr. 35 súčiastka č. 2 ) celé zariadenie, ktoré je potrebné pre vykonanie merania rýchlosti zatvárania dverí automobilu vďaka, ktorému určíme správnosť nastavenia dverí z energetického hľadiska. Ďalšou súčasťou mera-

<sup>75</sup> Výnimku netvoria ani automobilové dvere, na ktoré sú, ako aj na celý automobil kladené stále väčšie nároky v oblasti bezpečnosti, funkčnosti, kvality použitých materiálov, úrovni dielenského spracovania, ergonómii, užívateľskej prívetivosti ale aj minimalizácii výrobných nákladov, použití ekologicky prijateľnejších materiálov a minimalizácii hmotnosti každého komponentu jednotlivito ako následne aj finálnej hmotnosti dverí ako celku.

<sup>76</sup> Práve pre tieto účely sa používa metóda s meračom predĺženia pružiny, pomocou ktorej sa určí presná sila a energia potrebná pre zatvorenie dverí.

cieho zariadenia je nabíjačka ( obr. 35 súčiastka č. 3 ) určená pre opätovné nabitie dobíjateľnej batérie, ktorá sa nachádza v merači a je jednoducho vybrateľná a vymeniteľná. Nabíjačka je pripojená do elektrickej siete na 230 V pomocou pripájacieho kábla ( obr. 35 súčiastka č. 4 ).

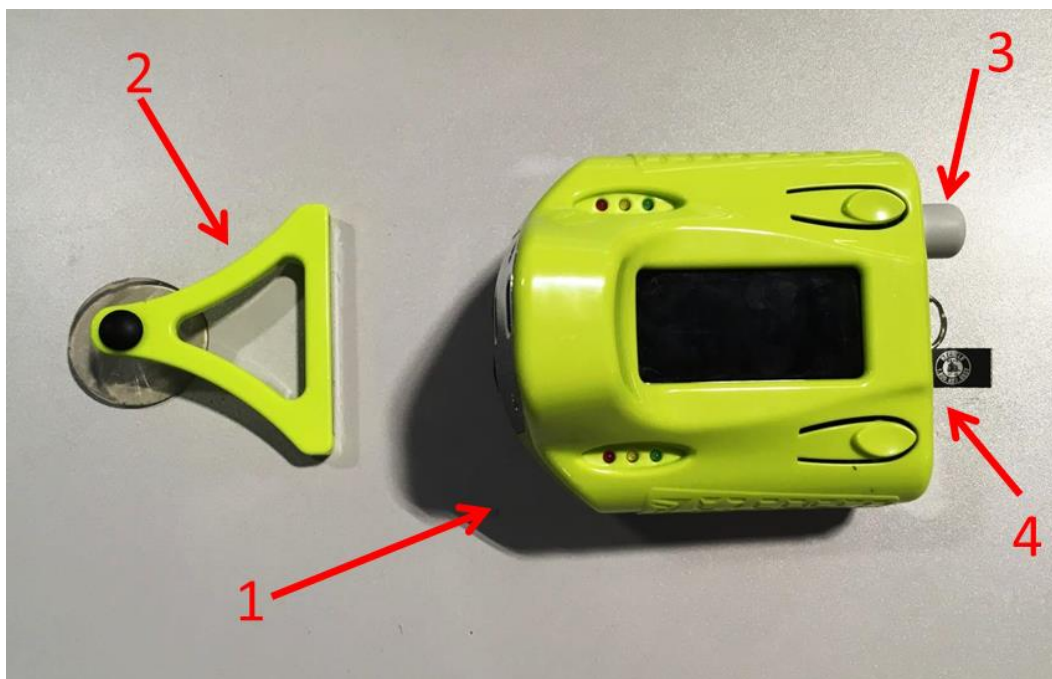


*Obr.35 Kompletné meracie zariadenie EZSPEED od firmy EZ Metrology zabalené v praktickom kufriku. [26]*

Detailný pohľad na merač ( obr. 36 súčiastka č. 1 ) a prísavku s odrazovou plochou ( obr. 36 súčiastka č. 2 ) v stave kedy je meracie zariadenie pripravené na meranie sa nachádza na obr. 36. Z obrázku je zrejmá kompaktnosť a praktickosť celého meracieho zariadenia. Hmotnosť samotného merača je 0,4 kg, vďaka čomu je merač ľahko prichytiteľný k automobilu pomocou podtlakovej prísavky s vákuovou pumpičkou<sup>77</sup> ( obr. 36 súčiastka č. 3 ), ktorá vysaje vzduch spod prísavky, čím vytvorí medzi prísavkou a automobilom väčší podtlak. Následne vzniknutý podtlak zabráňuje odpadnutiu merača z bočnej steny automobilu počas otrasov, ktoré spôsobuje zatváranie dverí. Prísavka s odrazovou plochou má výrazne nižšiu hmotnosť ako merač, a preto je prichytená k automobilu pomocou obvyčajnej podtlakovej prísavky, ktorá je v tomto prípade úplne postačujúca. Výdrž batérie ( obr. 36 súčiastka č. 4 ) na jedno nabitie je garantovaná výrobcom na 10 hodín pri stálom používaní meracieho zariadenia, čo je aj s rezervou postačujúce pre jednu 8 hodinovú zmenu<sup>78</sup> v rámci prevádzky výrobnéj linky. Je potrebné aby meracie zariadenie disponovalo dvoma batériami tak, aby bola vždy aspoň jedna batéria plne nabitá pre prípad, že by došlo k náhlejšej strate kapacity batérie a bolo by ju potrebné dať nabiť. [33]

<sup>77</sup> Stláčaním vákuovej pumpičky sa odsáva vzduch spod prísavky. Na úplné odsatie je potrebných približne 5 stlačení vákuovej pumpičky.

<sup>78</sup> Výroba v JLR pracuje za bežných podmienok na trojzmennú prevádzku.



Obr.36 Detailný pohľad na merač a prísavku s odrazovou plochou. [26]

Z technického hľadiska pracuje meracie zariadenie na meranie rýchlosti na princípe laserového merača, ktorý zachytáva odraz laserového lúča, ktorý sa odrazí od odrazovej plochy umiestnenej pomocou prísavky na pohybujúcom sa objekte. V merači sa nachádzajú dva laseri ( obr. 37 označené šípkami ) a meraná rýchlosť je vypočítavaná práve na základe veľkosti časovej diferencie medzi zachytením odrazu prvého a druhého laserového lúča. Presnosť merania laserového merača rýchlosti garantovaná výrobcom EZ Metrology je  $0,001 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a rozsah možných meraných rýchlostí<sup>79</sup> je  $0,1$  až  $10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Rozsah umiestnenia merača, ako aj prísavky s odrazovou plochou od bočnej hrany dverí je  $50$  až  $150 \text{ mm}$ . [33]



Obr.37 Detailný pohľad na merač s dvoma laserami a prísavku s odrazovou plochou pri meraní rýchlosti dverí pri zatváraní . [26]

<sup>79</sup> Nameraná rýchlosť pri zatvorení dverí sa pohybuje približne na úrovni  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , čo znamená, že rozsah merača je úplne postačujúci.

## 6.2 MERANIE

Meranie rýchlosti pri zatváraní bočných dverí je pomocou meracieho zariadenia EZSPEED pomerne jednoduché. Celú obsluhu meracieho zariadenia dokáže zabezpečiť jeden obsluhujúci pracovník. Pre samotné meranie je potrebný merač s dostatočne nabitou batériou a prísavka s odrazovou plochou a okrem toho samozrejme automobil, na ktorom bude celé meranie prebiehať.

### 6.2.1 PRÍPRAVA MERANIA

Pre meranie rýchlosti zatvárania dverí je potrebné v rámci nastavenia automobilu zabezpečiť rovnaké podmienky, ako pri predchádzajúcom meraní energie potrebnej pre zatvorenie dverí pomocou merača predĺženia pružiny. Merania musia prebiehať pri čo najťažších podmienkach<sup>80</sup> z energetického hľadiska pre zatvorenie bočných dverí. Je potrebné zatvorenie všetkých dverí okrem práve meraných a zatvorenie všetkých okien vrátane strešného<sup>81</sup>. Ďalej je nutné mechanicky pozatvárať všetky výduchy HVAC systému, ktoré sú vybavené mechanickým ovládanými klapkami prúdenia vzduchu cez výdych, umiestneným vedľa daného výdychu a taktiež úplne vypnúť HVAC systém, aby došlo k zamedzeniu prúdeniu vzduchu aj cez výduchy, ktoré nedisponujú z interiéru manuálne ovládateľnou klapkou prúdenia vzduchu cez výdych. Po týchto úkonoch je automobil pripravený na meranie a je možné pristúpiť k aplikácii meracieho zariadenia na automobil.

Po vybratí merača z kufríku sa v prvom rade treba ubezpečiť, či je úroveň nabitia batérie v merači dostačujúca na celý priebeh merania. Ak je batéria aj merač pripravený na meranie, môže sa prejsť k uchyteniu merača na automobil. Poloha merača je určená pre čo najvyššiu presnosť merania presne do polovice intervalu, v ktorom je merač schopný správne fungovať. Tým pádom sa meracie zariadenie, ako aj prísavka s odrazovou plochou umiestňujú 100 mm od hrany dverí<sup>82</sup>, ktoré sa práve merajú. Merač sa umiestňuje pomocou podtlakovej prísavky, vždy na statickú časť automobilu<sup>83</sup>, s ktorou nebude nijakým spôsobom pohybované. Po nastavení požadovanej pozície merača na automobile sa merač pomocou vákuovej pumpičky, ktorá vysaje vzduch spod podtlakovej prísavky prichytí k automobilu. Následne je potrebné prichytiť na merané dvere na požadovanú pozíciu aj prísavku s odrazovou plochou ( 100 mm od bočnej hrany dverí ). Odrazová plocha sa umiestňuje oproti meraču tak, aby sa od nej mohli odraziť laserové lúče pri meraní. Výškové umiestnenie merača a prísavky s odrazovou plochou nie je exaktne určené, ale musí byť zachovaná požiadavka na rovnaké výškové umiestnenie oboch komponentov. Pre jednoduchšie opakovateľné umiestňovanie merača a prísavky s odrazovou plochou sa určilo ich výškové umiestnenie takisto na 100 mm, ale teraz od vrchnej hrany meraných dverí<sup>84</sup>. Po uchytení oboch komponentov k automobilu je potrebné merač zapnúť a počkať pokiaľ sa merač dostane do polohy, kedy je pripravený na samotné meranie.

<sup>80</sup> Pretlakový efekt v kabíne treba zvýšiť na maximum.

<sup>81</sup> Ak ním meraný automobil disponuje.

<sup>82</sup> Vzdialenosť 100 mm je medzi odrazovou plochou a bočnou hranou dverí ako aj medzi priľahlou stranou merača, na ktorej sú umiestnené lasery a tou istou bočnou hranou dverí. Tým pádom vzdialenosť medzi meračom a odrazovou plochou je 200 mm.

<sup>83</sup> V prípade merania predných dverí automobilu sa merač umiestni na zadné dvere, s ktorými sa nebude hýbať a v prípade merania zadných bočných dverí sa merač umiestni na bočnú stranu automobilu do oblasti C stĺpiku ( samozrejme pri zachovaní rozmeru 100 mm od bočnej hrany práve meraných dverí ).

<sup>84</sup> V tomto prípade sa jedná o približnú orientačnú hodnotu a nie je potrebné ju striktné dodržiavať. Výšková pozícia merača a prísavky s odrazovou plochou v rámci odchýlok umiestnenia do 20 % nemá žiadny vplyv na hodnoty merania. Musí však byť zachované umiestnenie prísavky s odrazovou plochou v rovnakej kolmej vzdialenosti od vrchnej hrany dverí tak, ako sme zvolili tento rozmer pri umiestnení merača.



Po týchto úkonoch je automobil s meračom rýchlosti pripravený na samotné meranie rýchlosti dverí pri zatváraní. Nainštalovaný a zapnutý merač rýchlosti pripravený na meranie sa nachádza na obr. 38. Prichytenie merača k automobilu, ako aj zapnutie merača je veľmi intuitívne. Pre zapnutie alebo naoopak vypnutie merača, je potrebné len dvojnásobné stlačenie tlačidla štartu, ktoré sa na obr. 38 nachádza v pravom hornom rohu tela merača.



*Obr.38 Zapnutý merač rýchlosti dverí, pripravený na meranie rýchlosti zatvárania bočných dverí automobilu Land Rover Defender 110 . [26]*

### 6.2.2 PRIEBEH MERANIA

Celé meranie<sup>85</sup> rýchlosti dverí pomocou meracieho zariadenia EZSPEED je pomerne rýchle a jednoduché. Po príprave meracieho zariadenia nasleduje samotný priebeh merania, ktoré spočíva v otvorení dverí do maximálnej polohy a následnému manuálnemu zatvoreniu dverí obsluhujúcim pracovníkom. Po odrazení laserových lúčov pomocou odrazovej plochy prichytenej k meraným dverám sa na displeji merača vypíše nameraná hodnota rýchlosti v  $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ . Pokiaľ nedôjde k úplnému zatvoreniu dverí, je potrebné meranie zopakovať a mierne zvýšiť energiu, ktorou dvere obsluhujúci pracovník zatvára. Vypísaná hodnota rýchlosti z displeja sa považuje za finálnu, vhodnú na porovnanie s hraničnou hodnotou až potom, ako dôjde k úplnému zatvoreniu dverí. Pre určenie správnosti nastavenia dverí potrebujeme poznať hraničnú hodnotu, pri ktorej presiahnutí sa nastavenie dverí považuje už za nevyhovujúce<sup>86</sup> (odporové sily pri zatváraní dverí sú väčšie ako je prípustné). Pokiaľ je hodnota, pri ktorej sa dvere zatvoria menšia ako určená hraničná hodnota, tak sa nastavenie dverí považuje za vyhovujúce a meriace zariadenie sa môže demontovať a premiestniť na ďalšie dvere, na ktorých bude vykonané meranie. Avšak pokiaľ sa dvere úplne nezatvoria ani pri hraničnej rýchlosti, je potrebné nastavenie dverí znova mierne korigovať a následne znova vykonať opakované me-

<sup>85</sup> Zahŕňa prípravu meracieho zariadenia aj samotný priebeh merania.

<sup>86</sup> Na úplné zatvorenie dverí je potrebné vyvinúť príliš veľkú energiu, ktorá už nieje akceptovateľná, a preto je nutné ešte nastavenie dverí mierne doladiť.

ranie, ktoré určí či je nastavenie dverí už vyhovujúce. Pokiaľ by sa dvere opäť úplne nezavreli ani pri hraničnej rýchlosti, je potrebné opätovne vykonať korekciu nastavenia dverí a opakovat' tento postup až do momentu, kedy sa dvere zatvoria pri vyhovujúcej hodnote rýchlosti zatvárania dverí.



Obr.38 Výsledná hodnota merania rýchlosti dverí pri zatváraní. [26]

### 6.3 ZHODNOTENIE METÓDY

Navrhnutá metóda spĺňa všetky potrebné predpoklady na to, aby mohla byť implementovaná do výrobného procesu priamo na výrobnú linku na meranie správnosti nastavenia bočných automobilových dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Nahrádza metódu merania energie potrebnej pre zatvorenie dverí s meračom predĺženia pružiny, ktorá je veľmi dôležitá až nenahraditeľná v rámci celého vývoja automobilu, hlavne bočných dverí, ako aj pri koncepčných návrhoch a ich konštrukcii, pričom poskytuje presné údaje o energii potrebnej pre zatvorenie dverí. Avšak jej použitie v rámci sériovej výroby na výrobnéj linke je nemožné z vyššie uvedených dôvodov v kapitole 5.3.1. A práve z tohto dôvodu bola navrhnutá daná metóda, ktorá kombinuje množstvo výhod potrebných pre použitie metódy v rámci sériovej výroby na výrobnéj linke.

#### 6.3.1 NEVÝHODY METÓDY

Najväčšou a v podstate jedinou nevýhodou danej metódy, v rámci použitia na výrobnéj linke, pre meranie správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí, je nutnosť mierne zdĺhavého experimentálneho zisťovania závislostí medzi energiou a rýchlosťou



ťou pri zatváraní dverí, ktorá je nevyhnutná pre určenie hraničnej rýchlosti<sup>87</sup>, ktorá je pre navrhnutú metódu existenčne potrebná. Bez zistenia danej závislosti je nemožné určiť hraničnú rýchlosť. Závislosť rýchlosti na energii je potrebné zistiť pre každý pár<sup>88</sup> dverí každého modelu automobilu, na ktorom bude meranie rýchlosti dverí pri zatváraní pomocou navrhnutej metódy prebiehať.

### 6.3.2 VÝHODY METÓDY

Najdôležitejším predpokladom samotnej možnosti implementácie navrhnutej metódy do výrobného procesu na výrobnú linku, je splnenie predpokladu, že obsluhujúci pracovníci budú schopní celé meranie, počas času vyčleneného na tento účel vykonať. Práve preto je potrebné navrhnuť takú metódu, ktorá dokáže splniť tieto podmienky.

Jednoznačne najväčšou výhodou metódy je zmiernenie dopadu ľudského faktora na posudzovanie správnosti nastavenia bočných dverí z hľadiska energie potrebnej pre ich zatvorenie. Vďaka navrhnutiu metódy, ktorá je použiteľná priamo na výrobnéj linke v rámci sériovej výroby pri nastavovaní dverí, došlo k dosiahnutiu merateľnej výstupnej kontroly nastavenia dverí priamo na výrobnéj linke. Obsluhujúci pracovníci nastavovania dverí vedia merateľne posúdiť priamo pri nastavovaní, či je ich nastavenie vyhovujúce alebo nevyhovujúce, v prípade potreby aj hneď mierne korigovať nastavenie dverí. V rámci priebehu samotného merania nie je nutná žiadna kalibrácia meracieho zariadenia, čo má taktiež podieľ na znížení dopadu ľudského faktora. Pre obsluhu meracieho zariadenia s meračom rýchlosti nie je potrebný žiadny zásah do počtu ľudských zdrojov alebo zvýšenie kvalifikačných kritérií na obsluhujúcich pracovníkov, ktorí vykonávajú nastavovanie dverí.

Väčšina ďalších výhod navrhnutej metódy je spojená práve s potrebou premerania dverí v rámci krátkeho časovom úseku. Veľkou výhodou je použitie meracieho zariadenia EZSPEED, ktoré má nízku hmotnosť, kompaktné rozmery a len dve súčasti potrebné pre vykonanie celého merania. Z toho plynie viacero výhod, ako veľmi rýchla a jednoduchá montáž, ako aj následná demontáž bezproblémovo zvládnuteľná len jedným obsluhujúcim pracovníkom na výrobnéj linke. Taktiež nezanedbateľnou devízou tohoto meracieho zariadenia je ľahká a jednoduchá celková manipulácia<sup>89</sup> so zariadením, ktoré sa ovláda veľmi intuitívne a prirodzene len pomocou dvoch tlačidiel s haptickou odozvou. Ďalšou výhodou je bezproblémová údržba<sup>90</sup>, preprava a skladovanie<sup>91</sup> meracieho zariadenia.

Celý priebeh merania prebieha mimo vozidla, takže nie je potrebný, pre meranie správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí, žiaden zásah do interiéru vozidla s rozmerným a ťažkým meracím zariadením. Meracie zariadenie sa na automobil prichyťava z vonkajšej bočnej strany a prípadné vzniknuté škrvny alebo iné nečistoty na miestach, kde bol merač a prísavka s odrazovou plochou uchytené sa odstránia v umývačke automobilov, do ktorej sa na umytie dostane každý vyrobený automobil.

<sup>87</sup> Rýchlosť, s ktorou sú jednotlivé namerané rýchlosti dverí pri zatváraní porovnávané. Určuje, či je nameraná rýchlosť dverí ešte vyhovujúca alebo nie, a podľa toho sa následne rozhoduje o správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí.

<sup>88</sup> Jedná sa o predné a zadné bočné dvere každého modelu automobilu, na meranie ktorých, by bola navrhnutá metóda použitá.

<sup>89</sup> Priamo vyplýva z nízkej hmotnosti a kompaktných rozmerov celého meracieho zariadenia.

<sup>90</sup> V podstate nie je žiadna údržba potrebná. Jediná súčiastka, ktorú treba časom vymeniť je batéria, ktorej prirodzeným stárnutím klesá kapacita.

<sup>91</sup> Celé meriace zariadenie je dodávané vo veľmi praktickom a dobre uskladniteľnom prepravnom kufríku.

## 6.4 URČENIE HRANIČNEJ RÝCHLOSTI

Pri každom návrhu novej metódy pre určenie správnosti akéhokoľvek nastavenia alebo umiestnenia nejakého komponentu, je nevyhnutné taktiež zistiť hraničnú hodnotu, ktorá je rozhodujúca pre posúdenie meraných atribútov pomocou danej metódy. Výnimkou nie je ani daná navrhnutá metóda pre skúmanie správnosti nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Navrhnutá metóda je založená na princípe merania rýchlosti, pri ktorej dôjde k úplnému zatvoreniu dverí, a práve preto je nevyhnutné poznať hraničnú rýchlosť, pri ktorej prekročení už nie je nastavenie bočných dverí na automobile vyhovujúce z energetického hľadiska.

### 6.4.1 ZÁVISLOSŤ RÝCHLOSTI NA ENERGII

Pokiaľ je v navrhnutej metóde správnosť nastavenia dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí meraná meracím zariadením EZSPEED, ktoré meria rýchlosť zatvárajúcich sa dverí, je nevyhnutné poznať závislosť medzi rýchlosťou a energiou pri zatváraní dverí. Závislosť rýchlosti na energii pri zatváraní dverí je nevyhnutné zistiť pomocou časovo pomerne náročných experimentálnych meraní. Pre každý automobil<sup>92</sup>, ktorého správnosť nastavenia bočných dverí z energetického hľadiska bude posudzovaná pomocou navrhnutej metódy s meračom rýchlosti, je potrebné zistiť konkrétnu závislosť rýchlosti na energii pri zatváraní dverí. V podstate závislosť rýchlosti na energii je potreba zistiť pre každé dvere, ktoré majú rozdielne parametre<sup>93</sup>. V rámci diplomovej práce boli zistené tri závislosti rýchlosti na energii pre zatváraní dverí, a to konkrétne pre predné a zadné bočné dvere modelu Land Rover Defender 110 a pre predné bočné dvere modelu Land Rover Defender 90.

### METODIKA

Experimentálne meranie závislosti rýchlosti dverí na energii pri zatváraní dverí bolo uskutočnené na dvoch modeloch automobilov Land Rover Defender, na ktorých boli potrebné merať každé dvere. Pre vytvorenie grafickej závislosti rýchlosti dverí na energii pri zatváraní dverí bolo vopred určených 5 hodnôt energie, pre ktoré bola nameraná a následne zapísaná rýchlosť zatvárania dverí. Konkrétne sa jedná o hodnoty 3, 4, 5, 6 a 7 J, ktoré sú dostačujúce pre vytvorenie krivky potrebnej závislosti rýchlosti na energii. Pre spresnenie výsledkov bolo pre každú hodnotu energie urobených 5 meraní, z ktorých sa následne vytvoril aritmetický priemer. Merané boli každé dvere automobilu oboch meraných modelov automobilov, konkrétne sa jedná o modely Land Rover Defender 110 a Land Rover Defender 90. To znamená, že každé dvere automobilu boli zmerané 5 krát pre každú určenú hodnotu energie<sup>94</sup>. Pre validizáciu výsledkov bolo zmeraných 5 automobilov z oboch modelových radov Land Rovera Defendera. Následne boli namerané hodnoty z automobilov spriemerované pomocou aritmetického priemeru v rámci modelových radov a z výsledných hodnôt boli vytvorené grafické závislosti pre jednotlivé dvere automobilu. Pre každé dvere automobilu oboch modelov Land Rovera Defendera bola vytvorená po spriemerovaní všetkých hodnôt jedinečná grafická závislosť rýchlosti na energii. Z takto vytvorenej závislosti je možné následne určiť hodnotu hraničnej rýchlosti, pre zistenie ktorej bolo celé meranie uskutočnené.

<sup>92</sup> Danú závislosť rýchlosti dverí na energii pri zatváraní dverí je potrebné zistiť v podstate pre každý pár dverí meraného modelu automobilu ( predné, zadné ).

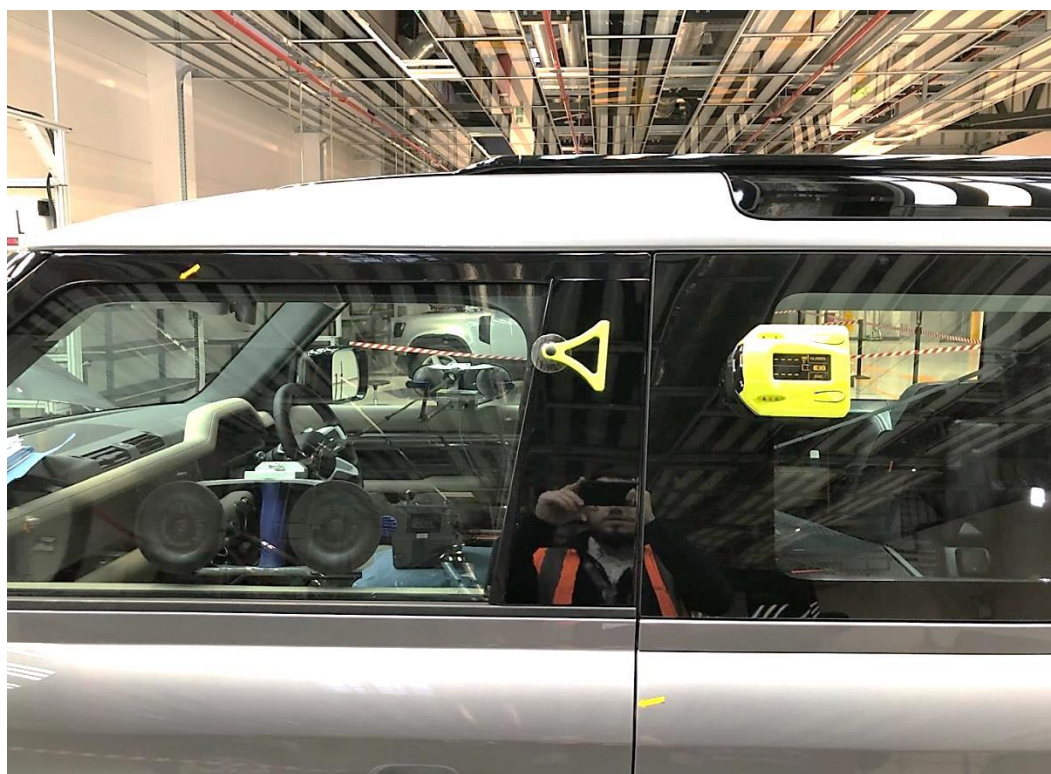
<sup>93</sup> Jedná sa o zmenu akéhokoľvek faktoru, ktorý by mal akýkoľvek vplyv na veľkosť energie potrebnej pre zatvorenie dverí.

<sup>94</sup> Dokopy bolo na každých dverách automobilu vykonaných 25 meraní, z čoho vyplýva 100 meraní na jednom automobile.

## MERANIE

Podstatou merania je súčasné použitie oboch spomínaných meracích zariadení, a to meriaceho zariadenia s meračom predĺženia pružiny, ako aj meracieho zariadenia s meračom rýchlosti od firmy EZ Metrology. Pre získanie závislosti rýchlosti na energii je nevyhnutné merať súčasne aj energiu<sup>95</sup>, aj rýchlosť pri zatváraní dverí.

Príprava na meranie obnáša vykonanie rovnakých úkonov ako v prípade meraní uskutočnených v rámci jednotlivých metód. V prvom rade je potrebné zabezpečiť správne nastavenie automobilu, na ktorom bude prebiehať meranie. Je nevyhnutné pozatvárať všetky okná a dvere, ako aj celý systém HVAC a manuálne výduchy, ktoré disponujú manuálne, z interiéru ovládateľnou klapkou prúdenia vzduchu cez výdych. Pokiaľ je automobil takýmto spôsobom pripravený, tak nasleduje inštalácia jednotlivých meracích zariadení na automobil, a to nasledujúcim určeným spôsobom. Ako prvé sa do interiéru automobilu inštaluje meracie zariadenie s meračom predĺženia pružiny podľa rovnakého postupu, ktorý je detailne popísaný v kapitole 5.2.1. Po umiestnení daného meracieho zariadenia do interiéru môžeme pristúpiť k inštalácii meracieho zariadenia s meračom rýchlosti na bočnú stranu exteriéru automobilu. Meracie zariadenie s meračom rýchlosti inštalujeme na tie dvere, na ktorých je už nainštalované meracie zariadenie s meračom predĺženia pružiny. Inštalácia meracieho zariadenia s meračom rýchlosti je popísaná v kapitole 6.2.1, podľa ktorej sa bude postupovať aj v tomto prípade. Po nainštalovaní oboch meracích zariadení je už všetko pripravené na samotné meranie.



*Obr.39 Meranie závislosti rýchlosti na energii potrebnej pre zatvorenie dverí na ľavých predných dverách vozidla Land Rover Defender 90. [26]*

<sup>95</sup> Energia je meraná pomocou meracieho zariadenia s meračom pružiny, s ktorým dokážeme odmerať presnú energiu na základe veľkosti predĺženia pružiny. Hodnoty energie odpovedajúce jednotlivému predĺženiu pružiny sú známe, ale sú výrobným tajomstvom firmy JLR. Z tohto dôvodu nie je možné zverejniť v rámci diplomovej práce konkrétne prepočty nameraného predĺženia na energiu.

Automobil Land Rover Defender 90 s nainštalovanými oboma meracími zariadeniami, plne pripravený na meranie sa nachádza na obr. 39. Na obr. 39 je názorne viditeľné akým spôsobom je uskutočnené vzájomne použitie oboch meracích zariadení súčasne na jednom automobile. Ešte pred začatím samotného merania je potrebné vykonať kontrolné meranie správnosti nastavenia dverí z energetického hľadiska pomocou meracieho zariadenia s meračom predĺženia pružiny. Je nutné overiť, či je nastavenie meraných dverí naozaj správne. Dvere musia byť z energetického hľadiska vyhovujúce pre meranie, inak by boli výsledky získanej závislosti rýchlosti na energii značne skreslené z dôvodu nesprávneho nastavenia dverí<sup>96</sup>. Pribeh merania vyplýva so spojenia jednotlivých meracích zariadení do jedného spoločného merania. Meracie zariadenie s meračom predĺženia pružiny, nainštalované v interiéri automobilu, slúži na určenie požadovanej energie a meracie zariadenie s meračom rýchlosti odmeria rýchlosť odpovedajúcu danej energii. Bočné dvere sú obsluhujúcim pracovníkom otvárané, čím je naťahovaná pružina merača predĺženia. Obsluhujúci pracovník postupne pomaly otvára dvere až do momentu, kedy sa na displeji meracieho zariadenia s meračom predĺženia pružiny objaví daná prvá určená hodnota predĺženia odpovedajúca vopred určenej energii<sup>97</sup>, v tom momente obsluhujúci pracovník pustí dvere, ktoré sa v dôsledku pôsobenia sily vyvolanej predĺžením pružiny dajú do pohybu v zmysle zatvárania dverí. Pri tomto pohybe vykoná nainštalované meracie zariadenie s meračom rýchlosti meranie. Nameraná rýchlosť je zapísaná do predpripravenej tabuľky merania, z ktorej neskôr vznikne za určených pravidiel samotná grafická závislosť rýchlosti dverí na energii pri zatváraní dverí. Následne sa pristúpi k ďalšiemu meraniu rýchlosti podľa vyššie určenej metodiky.

## VÝSLEDKY

Závislosť rýchlosti na kinetickej energii rotačného pohybu je kvadratická a je vyjadrená pomocou rovnice 4. Z tohoto dôvodu je aj v rámci experimentálne zistených závislosti rýchlosti dverí na energii pri zatváraní, použitá pre grafické znázornenie danej závislosti kvadratická krivka, ktorá je vytvorená preložením experimentálne nameraných bodov kvadratickou funkciou.

$$E_r = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2, \quad (4)$$

$$\omega = \frac{v}{r}, \quad (5)$$

kde:

$E_r$  – kinetická energia rotačného pohybu [ J ],

$I$  – moment zotrvačnosti [ kg·m<sup>2</sup> ],

$\omega$  – uhlová rýchlosť [ rad·s<sup>-1</sup> ],

$v$  – rýchlosť [ m·s<sup>-1</sup> ],

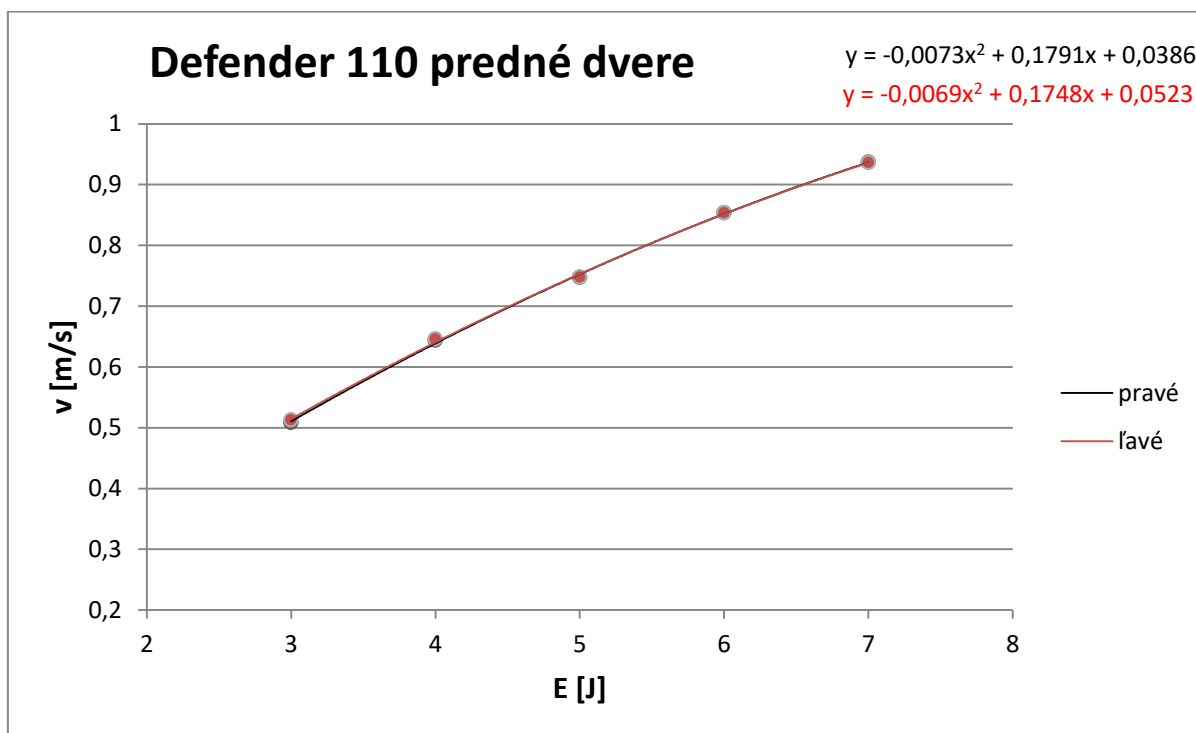
<sup>96</sup> Ak by energia potrebná pre zatvorenie dverí presiahla akceptovateľnú hraničnú hodnotu, meranie závislosti rýchlosti na energii, by nemohlo byť uskutočnené. Odporý kladené pri zatváraní, by boli príliš vysoké a dvere, by nedosahovali takú rýchlosť ako pri správne nastavených dverách, čo by malo za následok výrazné skreslenie celého merania.

<sup>97</sup> Pre dané meranie bola určená hodnota energie 3, 4, 5, 6 a 7 J.

$r$  – vzdialenosť bočnej hrany dverí od osi otáčania dverí[ m ].

Zo zistených grafických závislostí rýchlosti dverí na energii je možné určiť rýchlosť odpovedajúcu danej energii. Takýmto spôsobom vieme určiť aj potrebnú hraničnú rýchlosť, ktorá sa používa pre určovanie správnosti nastavenia dverí z energetického hľadiska v rámci navrhovanej metódy. Pre určenie hraničnej rýchlosti je už potrebné iba stanovenie maximálnej dovolenej energie, ktorá je považovaná za ešte vyhovujúcu v prípade nastavenia bočných dverí z hľadiska energie potrebnej pre zatvorenie dverí. Táto energia je známa, každý automobilový výrobca má určenú svoju hodnotu<sup>98</sup> tejto energie. Na určenie tejto energie sa počas vývoja a výskumu používa práve meracie zariadenie s meračom predĺženia pružiny, ktoré dokáže pracovať veľmi presne.

Jednotlivé experimentálne namerané závislosti rýchlostí na energii dverí pri zatváraní sa nachádzajú na obr. 40, 41 a 42. V každom grafe sa nachádza vždy pár dverí, čierna krivka zobrazuje závislosť pre pravé dvere a červená pre ľavé dvere z páru. Energia v Jouloch sa nachádza na vodorovnej osi, kde sú vyznačené práve hodnoty energie, v ktorých bola rýchlosť meraná. Na zvislej osi sa nachádza rýchlosť nameraná meracím zariadením EZSPEED, odpovedajúca jednotlivým hodnotám energie. V pravom hornom rohu všetkých grafov sa nachádza kvadratická rovnica krivky, ktorá vznikla preložením nameraných bodov kvadratickou funkciou v programovom prostredí Microsoft Excel.

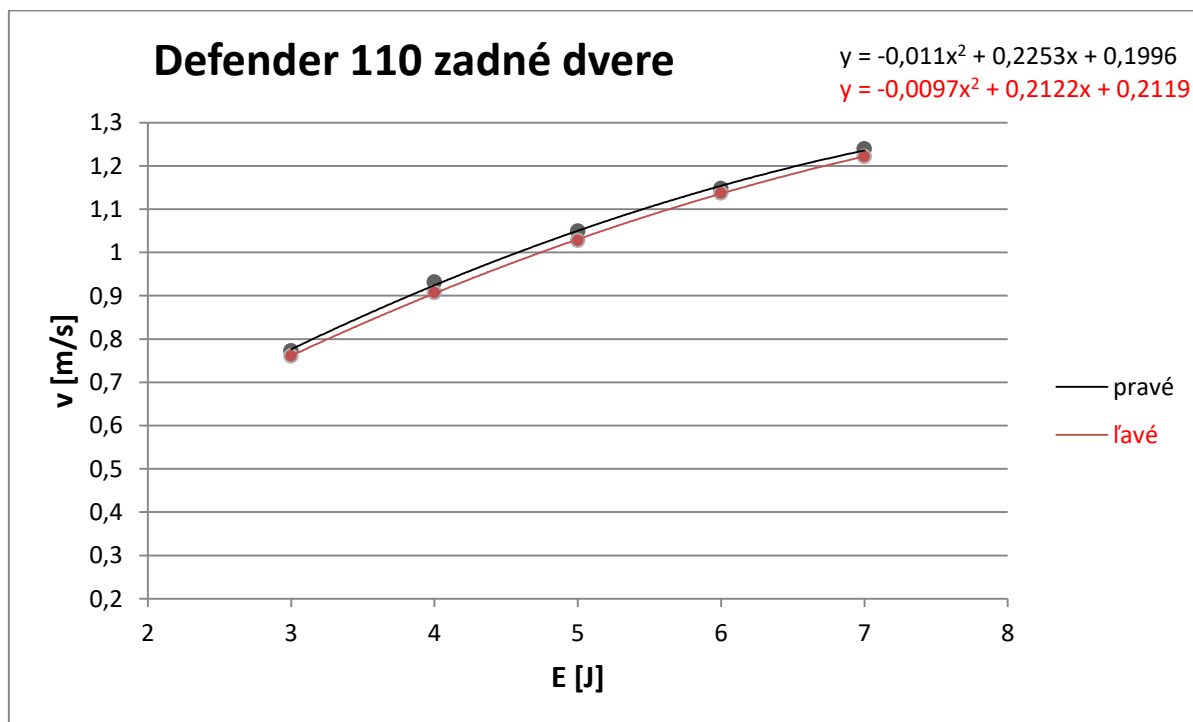


Obr.40 Grafická závislosť rýchlosti dverí na energii dverí pri zatváraní pre predné bočné dvere automobilu Land Rover Defender 110.

Na obr. 40 sa nachádza grafická závislosť rýchlosti na energii pri zatváraní dverí predných dverí modelu Land Rover Defender 110. Krivky ľavých a pravých dverí sú takmer totožné, čo

<sup>98</sup> Samozrejme tieto hodnoty sa pohybujú v rámci povoleného intervalu tak, aby nedošlo k porušeniu žiadneho nariadenia, predpisu alebo normy.

dokazuje správnosť a presnosť meraní. V prípade modelu Land Rover Defender 110 bol merač predĺženia<sup>99</sup> umiestnený vždy na ľavých dverách, čo spôsobilo, že ľavé dvere pri meraní na Land Roveri Defenderi 110 boli vždy o niečo ťažšie. Samotné predné dvere na modely Land Rover Defender 110 sú pomerne ťažké voči meraču predĺženia, a preto sa prípadný nárast hmotnosti ľavých dverí voči pravým o merač predĺženia neprejavil skreslením výsledkov merania a krivky pravých a ľavých dverí sú naozaj takmer totožné. Avšak v prípade merania zadných dverí na automobile Land Rover Defender 110, ktorých rozmery ako aj hmotnosť je nižšia<sup>100</sup> ako tých predných je vidieť už mierne skreslenie výsledkov spôsobených práve hmotnosťou merača predĺženia. Na obr. 41 sa nachádza grafické znázornenie závislosti rýchlosti na energii pri zatváraní zadných dverí modelu Land Rover Defender 110. Pri porovnaní krivky odpovedajúcej ľavým zadným dverám, voči krivke odpovedajúcej pravým zadným dverám je jednoznačne vidieť ovplyvnenie nameraných výsledkov nerovnosťou hmotností pravých a ľavých dverí počas merania. Táto odchylka spôsobená spomínanou hmotnosťou merača predĺženia však dosahuje iba maximálne 3 %, čo je pre potreby navrhutej metódy a konkrétne určenia hraničnej hodnoty, ktorá rozhoduje o správnosti nastavenia dverí z energetického hľadiska zanedbatelná hodnota odchylky. Nižšia hmotnosť zadných dverí voči predným sa prejavila aj v samotnej veľkosti rýchlosti, odpovedajúcej danej energii. Z rovnice 4 vyplýva, že pri znížení veľkosti momentu zotrvačnosti<sup>101</sup>, bude výsledná rýchlosť pri zachovaní rovnakej energie vyššia.



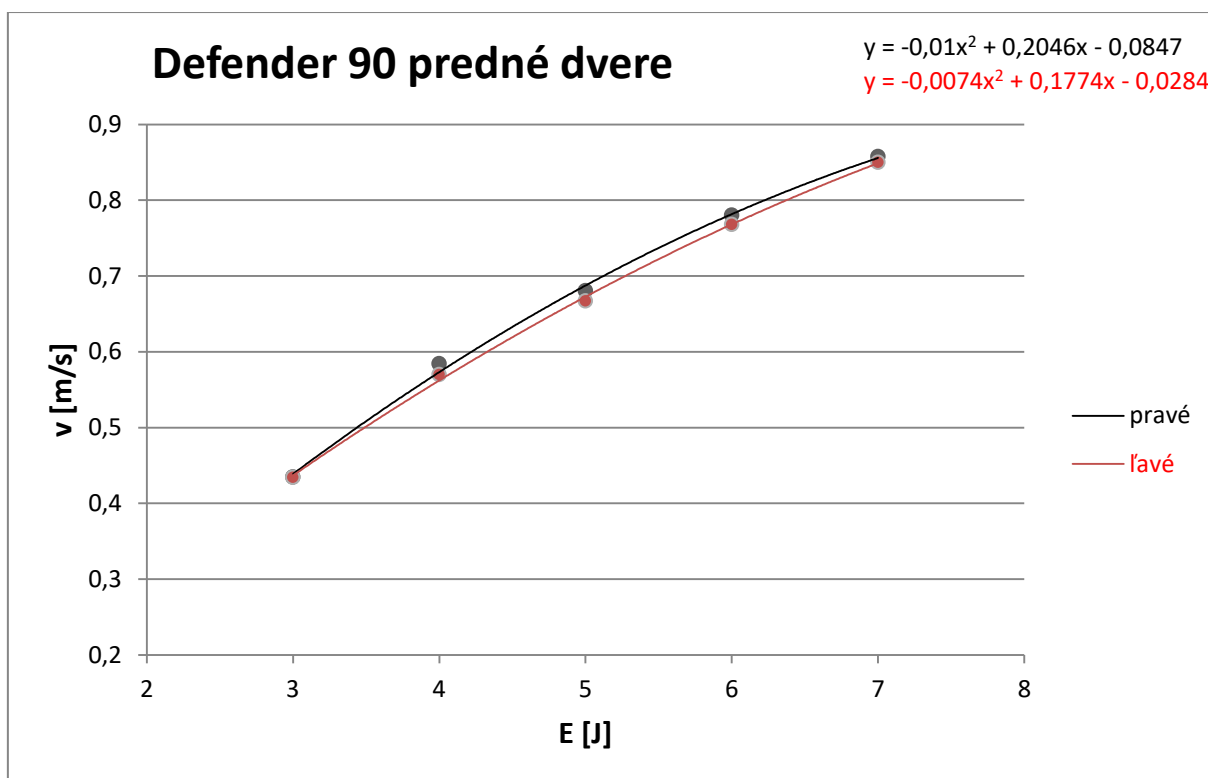
Obr.41 Grafická závislosť rýchlosti dverí na energii dverí pri zatváraní pre zadné bočné dvere automobilu Land Rover Defender 110.

<sup>99</sup> Hmotnosť merača predĺženia pružiny je väčšia, ako hmotnosť šponovacieho zariadenia umiestneného na opačných dverách.

<sup>100</sup> Percentuálny podiel hmotnosti merača aplikovaného na dverách v rámci celej pohybujúcej sa sústavy ( dvere plus merač ) je jednoznačne vyšší v prípade zadných dverí, čo sa aj negatívne prejavilo na miernom skreslení merania.

<sup>101</sup> Keďže nám klesla hmotnosť a veľkosť dverí, klesla nám aj hodnota momentu zotrvačnosti v porovnaní s prednými dverami.

Rozmerovo najväčšie a aj hmotnostne najťažšie merané dvere sa nachádzajú na Land Roveri Defenderi 90<sup>102</sup>. Z tohoto faktu vyplýva opačný trend ako tomu je u zadných dverí modelu Land Rover Defender 110. Nameraná rýchlosť, odpovedajúca určeným hodnotám energie, je v tomto prípade najmenšia<sup>103</sup>. Na obr. 42 sa nachádza grafické znázornenie závislosti rýchlosti na energii pri zatváraní predných bočných dverí na modely Land Rover Defender 90, kde je názorne vidieť, že dosahované namerané rýchlosti sú naozaj nižšie ako v prípade Land Rovera Defendera 110. V prípade merania Land Rovera Defendera 90 bolo umiestnenie meracieho zariadenia s meračom predĺženia pružiny rovnaké<sup>104</sup> ako tomu bolo v prípade modelu Land Rover Defender 110. V grafe na obr. 42 je možné sledovať miernu odchýlku medzi krivkou závislosti rýchlosti na energii pri zatváraní ľavých a pravých dverí. Veľkosť odchýlky je do 2 %, čo je pre účely navrhutej metódy a určenie hraničnej hodnoty rýchlosti zanedbateľné. Táto odchýlka môže byť spôsobená miernymi nepresnosťami vo výrobe alebo nastavení dverí, keďže v čase merania sa jednalo v prípade Land Rovera Defendera 90 ešte o predsériovú výrobu. Vzhľadom na tento fakt, dopadlo meranie pomerne presne a vzniknutá mierna odchýlka je naozaj, v tomto prípade, úplne zanedbateľná a nepodstatná.



Obr.42 Grafická závislosť rýchlosti dverí na energii dverí pri zatváraní pre predné bočné dvere automobilu Land Rover Defender 90.

<sup>102</sup> Jedná sa o trojdverový automobil, ktorý má len predný pár bočných dverí, a preto musia byť dvere väčšie, aby zabezpečili dostatočne veľký nastupovací otvor, potrebný pre nastupovanie zadných pasažierov do druhého radu sedadiel.

<sup>103</sup> Moment zotrvačnosti predných dverí modelu Land Rover 90 je najväčší v rámci meraných dverí.

<sup>104</sup> Merač predĺženia zvyšoval hmotnosť taktiež ľavých dverí, presne tak isto ako tomu bolo aj v rámci meraní na modely Land Rover Defender 110.



### 6.4.2 ZATVÁRACIA SILA

Z dôvodu kontroly správnosti meraní a pre verifikáciu funkčnosti navrhnutej metódy, bolo urobené kontrolné meranie zatváracej sily<sup>105</sup>. Za zatváraciu silu sa považuje sila, pri ktorej dôjde k úplnému zatvoreniu bočných dverí. Veľkosť zatváracej sily je rovná veľkosti súčtu všetkých odporových síl pôsobiacich proti dverám pri zatváraní dverí. Jedná sa hlavne o odporové sily tesnení, odpor zámku, odpor z dôvodu pretlakovému efektu v kabíne a trenie v závesoch. So zistením potrebnej zatváracej sily sa určí aj odpor, ktorý je kladený proti zatváraniu dverí.

### METODIKA

Pre meranie zatváracej sily bol zvolený podobný model početnosti meraní, ako tomu bolo pri meraní závislosti rýchlosti na energii pri zatváraní bočných dverí. Meranie prebiehalo na modeloch Land Rover Defender 110 a Land Rover Defender 90, na ktorých boli merané každé bočné dvere. Prebehlo 5 meraní zatváracej sily na každých dverách. Namerané hodnoty pre každé dvere sa priemerujú pomocou aritmetického priemeru. Z obidvoch modelov Land Rovera Defendera bolo pre účely merania použitých taktiež práve 5 automobilov.

### MERANIE

Na účely merania zatváracej sily bol, ako meracie zariadenie použitý prítlačný tlakový silomer od firmy SAUTER. Maximálne možné zaťaženie meracieho prístroja je 1000 N a merací prístroj pracuje s garantovanou presnosťou 0,5 N. Na obr. 43 sa nachádza prítlačný tlakový silomer, ktorý bol používaný práve na účely merania zatváracej sily. [26]



Obr.43 Prítlačný tlakový silomer od firmy SAUTER použitý pre meranie zatváracej sily. [26]

<sup>105</sup> Jedná sa o silu potrebnú pre úplné zatvorenie bočných dverí.



Príprava vozidla na meranie zatváracej sily prebieha úplne rovnako<sup>106</sup>, ako v prípade navrhutej metódy s meračom rýchlosti alebo v prípade metódy s meračom predĺženia pružiny. Dôležité je uzavrieť okná a dvere na automobile, vypnúť celý HVAC systém, ako aj pozatvárať prúdenie vzduchu cez výduchy<sup>107</sup>, na ktorých je to možné. Po týchto úkonoch je automobil pripravený na meranie zatváracej sily pomocou tlakového silomeru. Nasledujúcim krokom je pripravenie silomeru na meranie. Je potrebné sa uistiť, či má silomer dostatočne nabitú batériu, následne je potrebné silomer zapnúť a prepnúť do režimu merania maximálnej sily, pomocou tlačidla MAX nachádzajúceho sa pod displejom silomera hneď vedľa tlačidla štartu. Pred meraním je potrebné ešte opatriť koncovku silomera ochranným prvkom<sup>108</sup> ( obr. 43 súčasť, na ktorú ukazuje šípka ), ktorý zabráni poškodeniu laku dverí automobilu po pritlačení silomeru na bočné dvere. Po dostatočnom zabezpečení koncovky silomeru pomocou ochranného prvku je všetko pripravené na meranie.

Priebeh samotného merania je veľmi rýchli a jednoduchý. Bočné dvere si pootvoríme a nastavíme ich do polohy, čo najbližšie ku karosérii automobilu, s čo najmenším uhlom otvorenia dverí. Nasledne sa zatlačí na dvere silomerom približne v mieste, kde sa nachádza zámok<sup>109</sup> a postupne sa bude zvyšovať tlak na dvere až do momentu, kedy dôjde k úplnému zatvoreniu dverí. Nameraná hodnota sa objaví na displeji silomeru, následne ju obsluhujúci pracovník zapíše do predpripravenej tabuľky a pokračuje v meraní podľa určenej metodiky.

## VÝSLEDKY

Namerané výsledky zatváracej sily v Newtonoch sa nachádzajú v tab. 1, z ktorej je zrejmé, že najvyššiu hodnotu zatváracej sily majú práve zadné dvere modelu Land Rover Defender 110. Tento paradox je pravdepodobne spôsobený prítomnosťou zámku, ktorý obsahuje mechanizmus detskej poistky. Práve tento bezpečnostný prvok zabráňujúci svojvoľné, nepovolené a často nebezpečné otvorenie zadných dverí hlavne detským pasažierom, pravdepodobne stojí za zvýšenou hodnotou zatváracej sily voči predným dverám oboch modelov, na ktorých mechanizmus detskej poistky prítomný nie je. Veľkosti zatváracích síl predných dverí oboch modelov Land Rovera Defendera sú v podstate rovnaké, malé odchylky medzi nimi môžeme považovať za chybu merania spôsobenú ľudským faktorom pri používaní tlakového silomeru.

vozidlo	dvere		F [N]
Defender 110	predné	pravé	307,8
		ľavé	310,2
	zadné	pravé	323,8
		ľavé	322,2
Defender 90	predné	pravé	309,8
		ľavé	311,8

Tab. 1 Výsledky zatváracej sily získané pomocou tlakového silomeru.

<sup>106</sup> Podstatou celej prípravy automobilu je nasimulovanie najhorších možných podmienok aké môžu nastať z hľadiska veľkosti odporových síl kladených na dvere, v rámci zatvárania dverí.

<sup>107</sup> Zatvoriť z interiéru manuálne ovládanú klapku prúdenia vzduchu cez výdych.

<sup>108</sup> Mäkčený materiál, ktorý zabráni kontaktu kovovej koncovky tlakového silomera priamo s bočnými dverami.

<sup>109</sup> Presné miesto nie je až tak dôležité. Je potrebné sa držať v okolí zámku dverí.

## ZÁVER

Snahou každého automobilového výrobcu je ponúknuť stále lepšie a zaujímavejšie výsledný produkt svojej práce, ktorý pritiahne pozornosť širokého spektra potencionálnych zákazníkov. Samozrejmosťou sú ale aj stále stúpajúce nároky zákazníkov na požadovanú dosiahnutú úroveň automobilu ako celku. Požiadavka na úroveň dielenského spracovania, na kvalitu použitých materiálov, na ergonómiu kabíny, na očarujúci dizajn a vzhľad, ale aj na praktickosť, funkčnosť a všestrannosť je stále rastúca, jednoducho automobil v dnešnej dobe už nie je len akýsi prostriedok k preprave z bodu A do bodu B. Usilovanie výrobcov automobilov o ucelený estetický zážitok z jazdy, je vidieť na každom kúsku automobilu. Výnimkou nie sú ani bočné dvere, ktoré sú prvým indikátorom splnenia alebo nesplnenia požadovanej úrovne. Sú to práve bočné automobilové dvere, s ktorými ako prvými príde potencionálny zákazník do fyzického kontaktu.

Prvý dojem, ktorý veľa napovie o celkovej kvalite a úrovni automobilu, poskytujú práve bočné dvere. Energia potrebná pre otvorenie, ale hlavne následne pre zatvorenie dverí je dôležitým faktorom, ktorý môže potencionálneho zákazníka vyslovene odradiť ( ak bude neprimerane vysoká ) alebo na druhú stranu ešte viac navadiť pri správnom nastavení dverí. Správnosť nastavenia dverí z energetického hľadiska je preto veľmi dôležitým faktorom, na ktorý kladú výrobcovia automobilov pri sériovej výrobe na výrobnéj linke veľký dôraz. Pre posúdenie správnosti nastavenia dverí je potrebná vhodná metóda, použiteľná v rámci výrobného procesu na výrobnéj linke, na ktorej je nastavený presný časový harmonogram, ktorý musí navrhnutá metóda splniť bez narušenia tohto harmonogramu.

V rámci diplomovej práce je navrhnutá metóda, ktorá spĺňa všetky potrebné kvalifikačné predpoklady na úspešnú implementáciu do výrobného procesu sériovej výroby. Implementovaním navrhnutej metódy dôjde k zavedeniu merateľnej výstupnej kontroly nastavenia dverí priamo, pri nastavovaní dverí v rámci stanoviska na výrobnéj linke, čo ďalej povedie k výraznej eliminácii dopadu ľudského faktora na nastavovanie bočných dverí z hľadiska energie potrebnej pre úplné zatvorenie dverí. Pri použití metódy nedôjde k žiadnemu zásahu alebo narušeniu časového harmonogramu výrobnéj linky, čo je základný predpoklad pre zachovanie správneho chodu výrobnéj linky. V rámci počtu potrebných obsluhujúcich pracovníkov nie je nutné pristúpiť k žiadnym zmenám v rámci ľudských zdrojov na príslušnom pracovisku výrobnéj linky, pre celú obsluhu meracieho zariadenia je úplne postačujúci jeden obsluhujúci pracovník zaškolený na používanie meracieho zariadenia.

Medzi pozitíva navrhnutej metódy patrí okrem iného, rozmerová a hmotnostná kompaktnosť meracieho zariadenia použitého pre účely danej metódy, z čoho priamo plynú viaceré výhody, medzi ktoré patrí hlavne rýchla a jednoduchá montáž, ako aj následná demontáž meracieho zariadenia, dobrá a ľahká manipulácia so zariadením, ktoré sa skladá len z dvoch súčastí potrebných k meraniu. Kompletne celý priebeh merania je uskutočnený mimo vozidla, nie je preto potrebný žiadny zásah ani vstup do interiéru automobilu, kde by mohlo dôjsť k nechcenému znehodnoteniu, niekto z interiérových súčastí.

## POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] Prvé auto na svete má 130 rokov - Autá - Webmagazin.Teraz.sk. *Webmagazin.Teraz.sk* [online]. Copyright © [cit. 12.03.2020]. Dostupné z: <https://webmagazin.teraz.sk/auta/prve-auto-na-svete-ma-130-rokov/3550-clanok.html>
- [2] Auta – Historia [online]. Copyright © 2020 [cit. 15.03.2020]. Dostupné z: <https://auta555.estranky.sk/clanky/historia.html>
- [3] GEORGANO, G.N.. *Cars: Early and Vintage , 1886-1930*. Londýn : Grange-Universal, 1985.
- [4] PATURI, Felix, Ed. Bodo Harenberg, redakcia Dušan Kubálek; preklad Daiela Řezníčková. *Kronika techniky*. 1. vyd. Praha : Fortuna Print, 1993.
- [5] Euro NCAP | Euro NCAP Timeline - Euro NCAP Launched. *Object moved* [online]. Copyright © 2020 Euro NCAP [cit. 20.03.2020]. Dostupné z: <https://www.euroncap.com/en/about-euro-ncap/timeline/euro-ncap-launched>
- [6] Land Rover Defender 90 1991. *Autoevolution - automotive news & car reviews* [online]. [cit. 26. 03. 2020]. Dostupné z: [https://www.autoevolution.com/cars/land-rover-defender-90-1991.html#agal\\_12](https://www.autoevolution.com/cars/land-rover-defender-90-1991.html#agal_12)
- [7] New Land Rover Defender 110 Interior. *Autodius - Luxury Cars, Classic Cars and Sports Car* [online]. Copyright © 2019 Autodius [cit. 28.03.2020]. Dostupné z: <https://autodius.com/new-land-rover-defender-110-interior>
- [8] List of cars with non-standard door designs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 30.03.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_cars\\_with\\_non-standard\\_door\\_designs#/media/File:SAAB\\_AERO\\_X\\_open.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_cars_with_non-standard_door_designs#/media/File:SAAB_AERO_X_open.jpg)
- [9] Kaiser Darrin. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 30.03.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Kaiser\\_Darrin#cite\\_ref-severson\\_kaiser\\_motors\\_2\\_3-7](https://en.wikipedia.org/wiki/Kaiser_Darrin#cite_ref-severson_kaiser_motors_2_3-7)
- [10] Flory, J. Kelly, “1954-Kaiser,” “American Cars, 1946-1959: Every Model, Year yb Year. [online]. [cit. 30.03.2020]. Dostupné z WWW: [https://books.google.sk/books?id=m-k3ONS880cC&pg=PA584&dq=Kaiser+Darrin&hl=en&sa=X&ei=yIl6Uq71NMSHkQe-4YDgCw&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Kaiser%20Darrin&f=false](https://books.google.sk/books?id=m-k3ONS880cC&pg=PA584&dq=Kaiser+Darrin&hl=en&sa=X&ei=yIl6Uq71NMSHkQe-4YDgCw&redir_esc=y#v=onepage&q=Kaiser%20Darrin&f=false)
- [11] Test: Ford B-MAX radšej s benzínom ako dieselom - Auto SME. *Auto SME | Najväčší magazín o autách na Slovensku* [online]. Copyright © Copyright 1997 [cit. 12.04.2020]. Dostupné z: <https://auto.sme.sk/c/6672788/test-ford-b-max-radsej-s-benzinom-ako-dieselom.html>
- [12] Suicide doors - Automotive Mileposts. *AUTOMOTIVE MILEPOSTS™ | Classic Car Restoration Data and History* [online]. [cit. 12.04.2020]. Dostupné z: <https://automotivemileposts.com/autobrevity/suicidedoors.html>

- [13] List of cars with non-standard door designs. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 12.04.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Suicide\\_door](https://en.wikipedia.org/wiki/Suicide_door)
- [14] Rolls Royce Phantom atinge padrao de conforto e tecnologia sem rivais - Forbes Brasil. *Forbes Brasil* [online]. [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: <https://forbes.com.br/fotos/2018/01/rolls-royce-phantom-atinge-padrao-de-conforto-e-tecnologia-sem-rivais/#foto9>
- [15] Gull-wing door. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Gull-wing\\_door](https://en.wikipedia.org/wiki/Gull-wing_door)
- [16] Updated Tesla Model X falcon wing door frustrates owners. *Homepage / Automotive News* [online]. Copyright © 1996 [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: <https://www.autonews.com/article/20160831/OEM11/160839968/updated-tesla-model-x-falcon-wing-door-frustrates-owners>
- [17] Swan doors. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Swan\\_doors](https://en.wikipedia.org/wiki/Swan_doors)
- [18] Jaguar C-X75: Exorcising the ghost of Spectre | Classic & Sports Car. *Classic & Sports Car* [online]. Copyright © 2020 Haymarket Media Group [cit. 13.04.2020]. Dostupné z: <https://www.classicandsportscar.com/features/jaguar-c-x75-exorcising-ghost-spectre>
- [19] Dvere na aute ako módny trend: Aj tieto druhy existujú – Auto.sk. *Auto.sk* [online]. Copyright © 2020, [cit. 23.04.2020]. Dostupné z: <https://www.auto.sk/fun/dvere-na-aute-ako-modny-trend-aj-tieto-druhy-existuju>
- [20] BMW i8 ako pokrokový plug-in hybrid končí - Auto SME. *Auto SME | Najväčší magazín o autách na Slovensku* [online]. Copyright © Copyright 1997 [cit. 23.04.2020]. Dostupné z: <https://auto.sme.sk/c/22363919/bmw-i8-ako-pokrokovy-plug-in-hybrid-konci.html>
- [21] Scissor doors. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 23.04.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Scissor\\_doors](https://en.wikipedia.org/wiki/Scissor_doors)
- [22] 2019 Lamborghini Aventador SVJ Doors Up Detail Wallpapers (150) - NewCarCars. *NewCarCars - Popular Photos of New Cars Wallpapers and Pictures* [online]. [cit. 23.04.2020]. Dostupné z: [http://www.newcarcars.com/cy2545\\_gi2516/](http://www.newcarcars.com/cy2545_gi2516/)
- [23] Innovations - Koenigsegg. *Home - Koenigsegg* [online]. Copyright © since 1994 [cit. 28.04.2020]. Dostupné z: <https://www.koenigsegg.com/innovations/>
- [24] Vehicle canopy. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2020 [cit. 28.04.2020]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle\\_canopy](https://en.wikipedia.org/wiki/Vehicle_canopy)

- [25] Saab Aero X. *Obrázky a pozadia* [online]. Copyright © 2005 [cit. 28.04.2020]. Dostupné z: <http://obrazky.4ever.sk/auto-moto/umelecke/saab-aero-x-222925>
- [26] JAGUAR-LANDROVER, Nitra plant [online]. Copyright © JAGUAR LAND ROVER 2020 [cit. 29.05.2020]. Dostupné z: <https://login.sso.jaguarlandrover.com/login.do>
- [27] Mozzone, Maurizio, "Study of the Door Closing Performance of an Aluminum Door" (2013). Electronic Theses and Dissertations. 4922. [online]. [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: <https://scholar.uwindsor.ca/etd/4922>
- [28] Y. Nagayama and R. Fujihara, "A consideration of Vehicle's Door Shutting Performance," Nissan Motor Co., Ltd., 1981.
- [29] "Pendulum, encyclopedia2 The free dictionary," Farlex, [online]. [cit. 08.06.2020]. Dostupné z: [http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/\\_/viewer.aspx?path=mgh\\_cep&name=Schematic-diagram-of-a-pendulum.jpg](http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/_/viewer.aspx?path=mgh_cep&name=Schematic-diagram-of-a-pendulum.jpg). [Accessed May 2013].
- [30] Vitor de Uzeda Sandrini, Mauricio Massarotti, Marco Maia, Emilio Sakaguti and Paulo Mendonça General Motors do Brasil,(2008) "A case-study about side door closing effort", SAE - 2008-36-0154
- [31] A. W. Bur, P. P. Dierauer and L. F. Ricks, "Honeywell's Automotive Door Latch Design is Ideal for Corporate Latch Strategy," SAE technical paper series, 2003.
- [32] D. A. Wagner, K. N. Morman, Y. Gur and M. R. Koka, "Nonlinear analysis of automotive door weatherstrip seals," *Finite Elements in Analysis and Design*, vol. 28, no. 1997.
- [33] EZSPEED - EZ Metrology. *EZ Metrology* [online]. Copyright ©Zxk [cit. 15.06.2020]. Dostupné z: [https://www.ezmetrology.com/pdfs/speed\\_print.pdf](https://www.ezmetrology.com/pdfs/speed_print.pdf)

## Zoznam použitých skratiek a symbolov

Euro NCAP		European New Car Assessment Programme
$E_p$	[J]	potencionálna energia pružnosti ideálnej pružiny
$E_r$	[J]	kinetická energia rotačného pohybu
$F$	[N]	sila ideálnej pružiny
$g$	$[m \cdot s^{-2}]$	gravitačné zrýchlenie
$G$	[N]	gravitačná sila
HVAC		Heating, Ventilation, and Air Conditioning
$I$	$[kg \cdot m^2]$	moment zotrvačnosti
JLR		Jaguar – Land Rover
$k$	$[N \cdot m^{-1}]$	tuhosť ideálnej pružiny
$m$	[kg]	hmotnosť dverí
MPV		Multi-purpose vehicle
$r$	[m]	vzdialenosť bočnej hrany dverí od osi otáčania dverí
$v$	$[m \cdot s^{-1}]$	rýchlosť
$W$	[J]	práca potrebná na vychýlenie ideálnej pružiny z rovnovážnej polohy
$x$	[m]	výchylka z rovnovážnej polohy
$\omega$	$[rad \cdot s^{-1}]$	uhlová rýchlosť